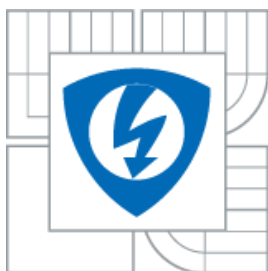




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

MONITOROVACÍ SYSTÉM VODNÍCH TOKŮ S GSM KOMUNIKACÍ

RIVER MONITORING SYSTEM WITH GSM COMMUNICATION

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

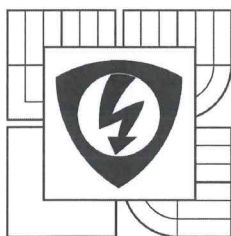
Bc. DAVID PAČINEK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. ZDENĚK BRADÁČ, Ph.D.

BRNO 2014



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav automatizace a měřicí techniky

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Kybernetika, automatizace a měření

Student: Bc. David Pačinek
Ročník: 2

ID: 127715
Akademický rok: 2013/14

NÁZEV TÉMATU:

Monitorovací systém vodních toků s GSM komunikací

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Cílem práce je návrh a realizace autonomního elektronického systému pro monitorování vodních toků vybaveného komunikací GSM.

1. Zpracujte literární rešerši obdobných systémů.
2. Navrhněte systém pro měření běžných veličin venkovního prostředí, záznamovým médiem na bázi FLASH karty a komunikačním rozhraním. Systém navrhněte s nezávislým napájením.
3. Popište návrh a navrhněte elektrické schéma.
4. Navrhněte elektroniku, realizujte DPS, osadte a oživte.
5. Napište programové vybavení pro řídicí systém i PC, realizujte WWW stránky.
6. Ověřte, otestujte a demonstруйте funkčnost. Vyhodnoťte výsledky.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Pavel Herout: Učebnice jazyka C, KOPP, 2004, IV. přepracované vydání, ISBN 80-7232-220-6
Dle pokynů vedoucího práce.

Termín zadání: 10.2.2014

Termín odevzdání: 19.5.2014

Vedoucí práce: doc. Ing. Zdeněk Bradáč, Ph.D.

Konzultanti diplomové práce:

doc. Ing. Václav Jirsík, CSc.
předseda oborové rady



UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Abstrakt

Tato diplomová práce je věnována systému monitorování vodních toků za využití alternativního zdroje napájení a GSM komunikace. V práci je provedena rešerše týkající se možností měření veličin na vodních tocích, dále podrobná rešerše fotovoltaických panelů, dostupných akumulátorů a jejich nabíjení a také stručný přehled obdobných systémů. Dále diplomová práce svým obsahem zachycuje návrh a realizaci zařízení typu datalogger s možností odesílání naměřených dat na internet.

Klíčová slova

Monitorování vodních toků, měření průtoku, měření hladiny, limnigraf, fotovoltaický panel, LiFePO₄, NiCd, Pb, nabíjení akumulátorů, snímač tlaku FMX 167, solární nabíječka LT3652, GSM modul MC39i, mikrokontrolér ATmega168, spínaný zdroj LM26003, SD karta, RTC modul DS1302.

Abstract

This master thesis is dedicated to system of water monitoring for use of alternative source power supply and GSM communication. The thesis carried out research on the possibilities to take measurements on watercourses, also detailed research of photovoltaic panel, available accumulators and their charging and a synopsis of similar systems. Furthermore, the master thesis also captures design and implementation datalogger device type with possibility to send measured data to the website.

Keywords

Water monitoring, flow measurement, level measurement, limnigraph, photovoltaic panel, LiFePO₄, NiCd, Pb, charging accumulators, pressure sensor FMX 167, solar charger LT3652, GSM module MC39i, microcontroller ATmega168, power supply LM26003, SD card, RTC module DS1302.

Bibliografická citace:

PAČINEK, D. Monitorovací systém vodních toků s GSM komunikací. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2014. 101 stran. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Zdeněk Bradáč, Ph.D..

Prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma "Monitorovací systém vodních toků s GSM komunikací" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce, s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení §11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne: 19. května 2014



.....
podpis autora:

Poděkování:

Děkuji vedoucímu práce doc. Ing. Zdeňku Bradáči, Ph.D. za metodické a cíleně orientované vedení při plnění úkolů realizovaných v návaznosti na diplomovou práci.

Obsah

1	Úvod a cíle práce.....	11
2	Monitorování vodních toků	11
2.1	Měření průtoku.....	11
2.1.1	Objemová metoda	12
2.1.2	Měrné přelivy	12
2.1.3	Měrné žlaby.....	13
2.1.4	Měření bodové rychlosti	13
2.1.5	Vodočty a limnigrafy	15
2.1.6	Hydrotechnický výpočet	16
2.2	Měření hladiny	17
2.2.1	Plovákové měření.....	17
2.2.2	Radarové měření	18
2.2.3	Ultrazvukové měření.....	18
2.2.4	Tlakové měření.....	19
3	Fotovoltaické články.....	21
3.1	Princip činnosti fotovoltaického článku.....	21
3.2	Základní vlastnosti fotovoltaických panelů.....	22
3.2.1	Proud nakrátko - I_{SC}	22
3.2.2	Napětí naprázdno - U_{OC}	22
3.2.3	Okamžitý výkon - P	22
3.2.4	Maximální výkon - P_m	22
3.2.5	Pracovní bod.....	22
3.2.6	Činitel plnění (FF).....	23
3.2.7	Účinnost	23
3.2.8	Spektrální citlivost S	23
3.3	Rozdělení fotovoltaických panelů.....	24
3.3.1	Panely s monokrystalickými články.....	24
3.3.2	Panely s polykrystalickými články.....	25
3.3.3	Panely s amorfními články.....	25
4	Akumulátory a jejich vlastnosti	26
4.1	Kapacita	26
4.2	Samovybíjení	26
4.3	Poměry nabíjecí/vybíjecí proud	26

4.4	Vnitřní odpor.....	26
4.5	Paměťový efekt	27
4.6	Nejčastěji používané typy akumulátorů	27
4.6.1	NiCd akumulátor	27
4.6.2	NiMH akumulátor	28
4.6.3	Li-Ion akumulátor	29
4.6.4	Pb akumulátor	30
4.6.5	LiFePO4 akumulátor	31
4.6.6	Porovnání vlastností uvedených typů akumulátorů.....	31
4.7	Nabíjení akumulátorů.....	32
4.7.1	Nabíjecí režimy akumulátorů	32
4.7.1.1	Pomalé nabíjení.....	32
4.7.1.2	Zrychlené nabíjení.....	32
4.7.1.3	Rychlé nabíjení.....	32
4.7.1.4	Udržovací nabíjení	33
4.7.2	Metody pro ukončování nabíjení.....	33
4.7.2.1	Časové ukončení	33
4.7.2.2	Napěťové ukončení	34
4.7.2.3	Proudové ukončení.....	36
4.7.2.4	Teplotní ukončení.....	37
5	Obdobné systémy.....	39
5.1	Registrační jednotka M4016	39
5.2	GSM Datalogger DA4.....	40
5.3	Hydro Logger H1	41
5.4	Datalogger DN4000	41
5.5	Porovnání systémů	42
6	Hardwarový návrh a popis zařízení	45
6.1	Senzorová část.....	46
6.1.1	Snímač tlaku FMX 167	47
6.1.2	Prostorový teploměr T1010.....	47
6.2	Řídicí procesor	48
6.2.1	Požadavky na řídicí procesor	48
6.2.2	Mikrokontrolér ATmega168	48
6.2.2.1	Provedení pouzder.....	49
6.2.2.2	Vstupní/výstupní porty	50

6.2.2.3	Sériové rozhraní USART	51
6.3	FLASH paměť	51
6.4	RTC modul	52
6.5	GSM modul	53
6.5.1	Požadavky na GSM modul	53
6.5.2	GSM modul Cinterion MC39i	53
6.5.2.1	Základní vlastnosti	54
6.5.2.2	Zdroj napájení	54
6.5.2.3	Komunikační rozhraní	55
6.5.2.4	Rozhraní pro SIM	55
6.5.2.5	Řídící signály	56
6.5.2.6	Další vstupy a výstupy	56
6.5.2.7	Speciální provozní módy	57
6.5.2.8	Specifikace rozhraní	57
6.6	Volba napěťových úrovní	60
6.6.1	Napájecí zdroj LM26003	60
6.6.1.1	Popis jednotlivých pinů	61
6.6.2	Napěťový regulátor MIC5209	61
6.7	Výpočet teoretické spotřeby zařízení bez akumulátoru	62
6.8	Výběr akumulátoru	63
6.9	Výpočet celkové spotřeby zařízení včetně akumulátoru	63
6.10	Výběr fotovoltaického panelu	64
6.11	Požadavky na solární nabíječku	65
6.11.1	Popis obvodu LT3652	65
6.11.1.1	Základní vlastnosti	66
6.11.1.2	Popis jednotlivých pinů	66
7	Obvodové řešení	69
7.1	Solární nabíječka LT3652	69
7.2	Napájecí zdroje	71
7.2.1	Popis schéma zapojení LM26003	71
7.2.2	Popis schéma zapojení MIC5209	71
7.3	MCU a programovací konektor	72
7.4	GSM modul a SIM karta	73
7.5	FLASH paměť	74
7.6	RTC modul	75

7.7	Analogové vstupy	76
8	Návrh SW vybavení.....	78
8.1	Inicializace	78
8.2	Obsluha RTC.....	78
8.3	Snímání hodnot z analogových vstupů	80
8.4	Ukládání a čtení dat z FLASH paměti	83
8.5	Využití úsporných režimů MCU	87
8.5.1	Nastavení čítače	87
8.5.2	Nastavení režimu spánku	88
8.6	Komunikace prostřednictvím GSM modulu	90
8.6.1	Rozhraní USART	90
8.6.2	Zadávání AT příkazů.....	91
8.6.3	Postup při realizaci komunikace a přenosu dat	91
9	Závěr.....	92
10	Seznam zkratk.....	93
11	Seznam obrázků	94
12	Seznam tabulek.....	96
13	Použité zdroje a literatura	97
14	Seznam příloh	101

1 ÚVOD A CÍLE PRÁCE

Hlavním cílem této práce je návrh a realizace autonomního elektronického systému pro monitorování vodních toků prostřednictvím GSM komunikace. Systém tvoří senzory pro měření akčních veličin, procesor, záznamové médium na bázi FLASH karty, akumulátor, regulátor nabíjení akumulátoru a komunikační modul. Celý systém bude pracovat bez možnosti napájení ze sítě, proto je nutné jej vybavit o alternativní zdroj napájení, jímž je v tomto případě solární energie. Úvod práce je věnován problematice měření akčních veličin při monitorování vodních toků, kde jsou ukázány principy a možnosti měření. Navazující kapitoly obsahují problematiku solárního napájení, řešerši dostupných akumulátorů a jejich způsobu nabíjení/vybíjení a také obdobné systémy pracující jako datalogger. Hardwarový návrh systému je rozdělen do několika spjatých částí, ve kterých jsou prezentovány nejen požadavky na výběr jednotlivých prvků ale i jejich reference a základní funkční údaje. Z těchto specifických částí systému je poté realizováno obvodové schéma zapojení a deska plošného spoje. Závěr práce obsahuje návrh SW vybavení mikrokontroléru a také popis aplikace na straně PC.

2 MONITOROVÁNÍ VODNÍCH TOKŮ

Monitorováním vodních toků se v České republice zabývá Český hydrometeorologický ústav (ČHMÚ) a jednotlivá povodí. U vodních toků jsou vybudovány měřicí stanice, ve kterých se nachází vybavení pro měření akčních veličin a přenos dat na dispečerské pracoviště příslušného správního orgánu. Nejčastěji snímanými veličinami vodních toků jsou hladina a průtok a těmito měřeními se zabývám v této kapitole.

2.1 Měření průtoků

Nabídka metod pro měření průtoků v otevřeném korytu řeky je široká. Mezi nejznámější metody patří:

- **Přímé měření průtoků:**
 - a) **Objemová metoda** - kalibrované nádoby
 - b) **Měrné přelivy** - Bazinův, Ponceletiho, Thomsonův
 - c) **Měrné žlaby** - Venturiho, Parshallův
- **Měření rychlosti:**
 - d) **Měření bodové rychlosti** - plováková metoda, hydrometrická vrtule, elektromagnetická měřidla

- **Měření vodního stavu:**
 - e) **Vodočty a limnigrafy** - konzumpční křivka
- **Hydrotechnický výpočet rychlosti:**
 - f) **Hydrotechnický výpočet** - Manningova rovnice, Chezyho rovnice

2.1.1 Objemová metoda

Jedná se o velmi přesnou metodu, která se hodí především pro určení průtoku menších toků, nebo např. vydatnosti vodních pramenů. Vodní tok se přepaží stěnou za kterou je instalována nádoba s určitým a známým objemem. Průtok vody v místě přepažení se poté vypočítá jako podíl objemu a času naplnění nádoby, matematicky:

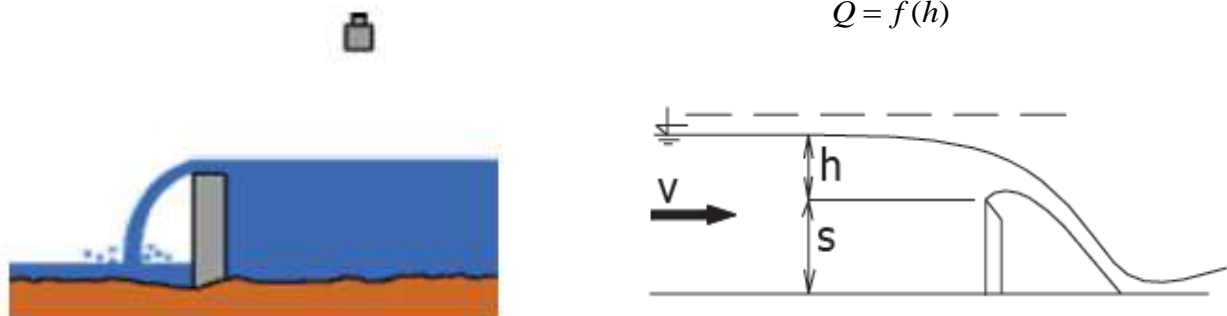
$$Q = \frac{V}{t} \quad [m^3 s^{-1}]$$



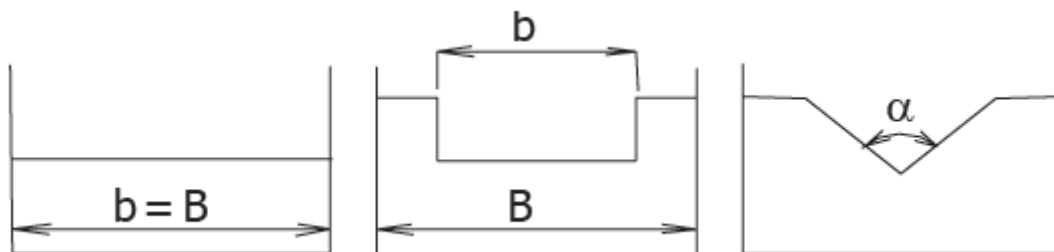
Obrázek 2.1 Kalibrovaná nádoba pro měření průtoku malých vodních toků [20]

2.1.2 Měrné přelivy

Měrné přelivy nacházejí využití především pro měření průtoku u potoků s širokým korytem a malou hloubkou. Měří se výška přepadového paprsku při dokonalém přepadu a z této výšky se určuje průtok. Výška přepadového paprsku je poté nejčastěji měřena pomocí ultrazvukového snímače.



Obrázek 2.2 Princip měření průtoku pomocí měrného přelivu [20]



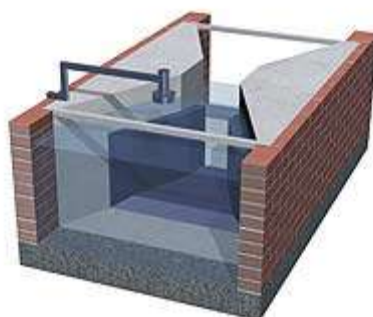
Obrázek 2.3 Měrné přelivy, zleva: Bazinův, Ponceletiho, Thomsonův [20]

Bazinův a Ponceletiho měrný přeliv jsou obdélníkového tvaru a hodí se především pro větší průtoky. Thomsonův přeliv se poté hodí spíše na menší průtoky.

Měření pomocí měrného přelivu je z nejpoužívanějších měření objemového průtoku a vykazuje malou nejistotu měření a tudíž i vysokou přesnost.

2.1.3 Měrné žlaby

Měrné žlaby jsou průtokoměrná zařízení, která využívají poklesu říčního proudění při zúžení proudu. Svým principem měření se přibližují k měrným přelivům pouze s tím rozdílem, že měrné žlaby se méně zanáší a jsou vhodné pro měření surové a odpadní vody. Přepadová výška hladiny se zaměřuje nejčastěji ultrazvukovým snímačem hladiny. Mezi dva nejzákladnější měrné žlaby patří Venturiho a Parshallův, kde Parshallův žlab se vyznačuje tím, že má menší stavební délku než Venturiho. Další používané typy žlabů jsou: Montana, Saniiri, Palmer-Bowlus, Leopold-Lagco, žlaby pravoúhlého-lichoběžníkového průřezu a průřezu tvaru U a další.

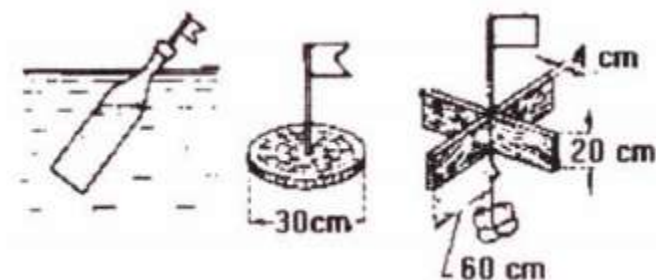


Obrázek 2.4 Provedení Parshallova žlabu [20]

2.1.4 Měření bodové rychlosti

Do bodového měření rychlosti proudění vody lze zařadit měření pomocí plováku, hydrometrické vrtule, elektromagnetického měřidla a ultrazvukovým snímačem (Flow Tracker).

Při plovákové metodě se plovák pohybuje v proudu rychlostí okolních částic vody. Jinak řečeno, plovák se hodí do vodního toku a měří se čas, za který uplave např. 5 nebo 10 metrů. Tento způsob měření je vhodný pro měření povrchových rychlostí a používá se velice zřídka, převážně při povodních kde hydrometrickou vrtuli nelze použít.

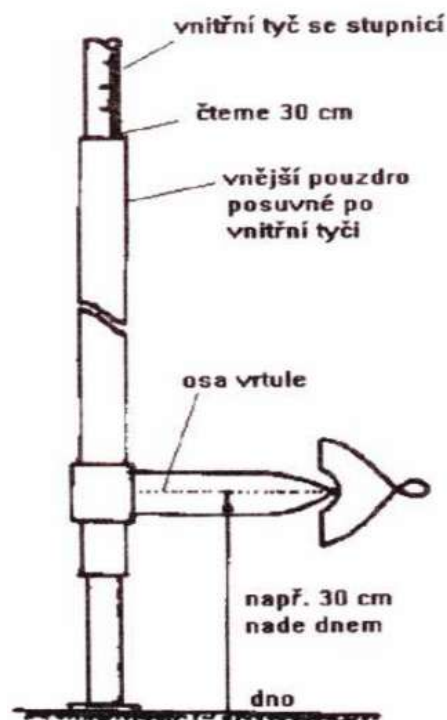


Obrázek 2.5 Měření povrchových rychlostí pomocí plováků [20]

Hydrometrická vrtule se pro přímé měření rychlosti používá nejčastěji. Hydrometrická vrtule měří časovou střední rychlost v korytě větších průměrů. Princip měření je v tekoucí vodě, která svým dynamickým účinkem otáčí vrtuli rychlostí úměrnou rychlosti vodního proudu. Při měření je potřeba dodržet podmínky a sice: pro měření musí být zvolen vhodný měřicí profil a také musí být možné určit průtočný průřez před samotným měřením. Výpočet rychlosti se provádí dvěma způsoby a to buď graficko-početní metodou, nebo grafickou metodou, pro kterou je uveden vzorec:

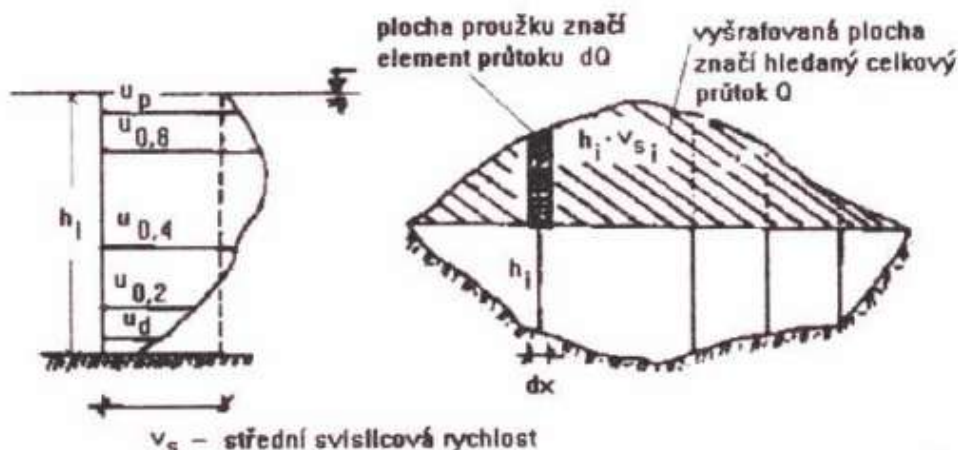
$$Q = F \cdot V_s$$

$$V_s = a + b \cdot n_s$$



Obrázek 2.6 Hydrometrická vrtule [20]

kde: Q - je průtok
 F - je dílčí plocha
 V_s - označuje střední svislicovou rychlost
 a, b - koeficienty tření
 n_s - specifický počet otáček (otáčky za 1 s)



Obrázek 2.7 Grafická metoda výpočtu průtoku pro hydrometrickou vrtuli [20]

Elektromagnetická měřidla rychlosti fungují na stejném principu jako indukční průtokoměry. Pohybem vody v homogenním magnetickém poli, které je vytvářeno měřicí sondou, které se někdy také říká "kachní zobák", se indukuje elektrické napětí. Takto změřené napětí se poté převádí na celočíselnou hodnotu průtoků.

Ultrazvuková měřidla průřezové rychlosti pracují na Dopplerově principu, kde určují a zpracovávají odezvy ultrazvukových impulzů odražených od částic, které se pohybují ve vodě. Ze změřeného frekvenčního posunu mezi vyslaným a přijatým signálem se vyhodnocuje rychlost proudění částice ve vodě. Toto měření je vhodné a používá se tam, kde je koryto řeky široké a hluboké, podmínkou měření je pravidelné koryto v místě měření. Specifickým ultrazvukovým měřidlem, které pracuje na principu Dopplerova jevu je tzv. Flow Tracker. Tento přístroj konstrukčně obdobný jako hydrometrická vrtule.

2.1.5 Vodočty a limnigrafy

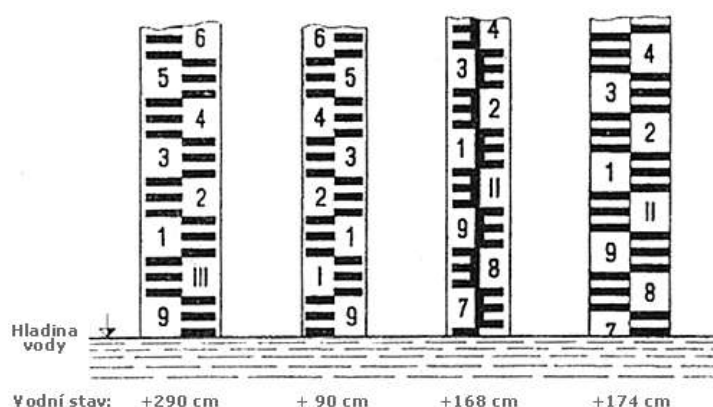
Vodočty a limnigrafy patří konstrukčně k nejjednodušším měřicím zařízením. Používají se především k soustavnému sledování vodních stavů v síti vodoměrných stanic na vodních tocích. Princip měření určuje tzv. vodotečný vztah v měrném profilu stanice, který je dán konzumpční křivkou, pro kterou platí vztah:

$$Q = f(H)$$

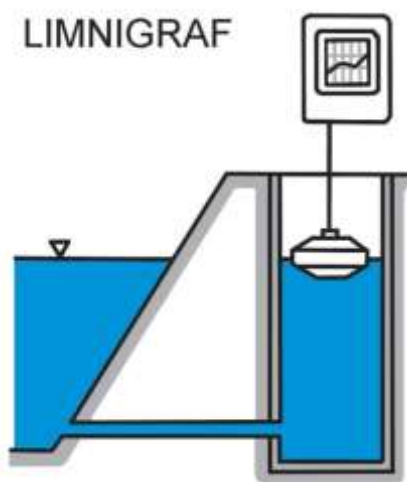
Konzumpční křivka vyjadřuje vztah mezi průtokem a odpovídajícím vodním stavem. Proto pro určení průtoků stačí pouze znalost výšky hladiny a určení odpovídající konzumpční křivky pro dané místo měření.

Za **vodočet** lze považovat svahovou nebo svislou měrnou lať, která má výškové dělení převážně po 2 cm, je fixovaná a geodeticky zaměřená. Nula na vodočtu je umístěná níže než historicky nejnižší známá hladina a vztahuje se ke státní nivelaci, nebo dvěma pevným bodům.

Limnigraf je poté přístroj s elektrickou nebo plovákovou indikací hladiny vodního toku. Výstupem z limnigrafu je grafický či digitální záznam, který je poté možné přes záznamové zařízení přenášet. Pro grafický záznam se používají limnigrafické papíry ve zmenšení 1:2, 1:5, 1:10, 1:20 a 1:40.



Obrázek 2.8 Příklad odečítání vodních stavů pomocí vodočtů [20]



Obrázek 2.9 Princip limnigrafu [20]

2.1.6 Hydrotechnický výpočet

Při použití této metody se používá výpočet rychlosti proudění na základě charakteristik koryta. Tento způsob výpočtu nachází využití především v hydraulice a hydrologických modelech a také při mimořádných situacích jako jsou například

povodně. Pro správné provedení výpočtu je třeba mít rovnoměrný ustálený pohyb po dostatečně dlouhý interval. Mezi dva nejrozšířenější hydrotechnické výpočty patří: Chezyho rovnice a Manningova rovnice.

Chezyho rovnice:

$$v = c \cdot \sqrt{R \cdot I}$$

Manningova rovnice:

$$v = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} \cdot I^{\frac{1}{2}}$$

kde: n - Manningův součinitel drsnosti (viz tabulkové hodnoty)

c - Chezyho součinitel drsnosti

R - hydraulický rádius

2.2 Měření hladiny

Problematika měření hladiny v otevřeném korytu řeky není s ohledem na možnosti měření tolik obsáhlá, jako tomu bylo v předešlé kapitole. Měření hladiny lze rozdělit dle principu snímání na čtyři kategorie:

- a) **Plovákové měření** - plovákové snímače
- b) **Radarové měření** - radarové snímače
- c) **Ultrazvukové měření** - ultrazvukové snímače
- d) **Tlakové měření** - metoda probublávání, hydrostatické měření

2.2.1 Plovákové měření

Měření hladiny pomocí plováku se provádí v připravené, do země vyvrtané díře o průměru několika desítek centimetrů, která je spodní částí spojena s korytem řeky (viz obrázek 2.9). Dochází-li ke zvyšování hladiny v korytu řeky, zvyšuje se i hladina ve vyhloubenině, kde se nachází plovák. Svislý pohyb plováku se pomocí lanka s protizávažím převádí na natáčení kladky snímače. Tento rotační pohyb je pak snímán buď pomocí starší metody děrovaného pásu a grafického záznamu, nebo magnetického snímače, případně jinak v závislosti na použitém měřicím zařízení. Elektrickým výstupem měření poté mohou být analogové hodnoty proudu, odporu, nebo při použití mikroprocesorového převodníku i hodnoty zabalené do komunikačního protokolu. Obrázek 2.10 vlevo poté zachycuje příklad provedení plováku se závažím, kde je rotační pohyb kladky zaznamenáván bezkontaktně pomocí speciálního magnetického snímače a dále je zpracováván mikroprocesorem. Snímač je poté připojen k dataloggeru prostřednictvím sériové linky RS-485 protokolem FINET.



Obrázek 2.10 Vlevo: plovákový kontinuální snímač hladiny PSH-30 (FIEDLER-MÁGR) [21], vpravo: plovákový limnigraf s grafickým záznamem LU503G [22]

2.2.2 Radarové měření

Radarové měření hladiny se provádí nejčastěji pomocí radarového snímače typu CW (Continuous Wave), který je umístěn na konstrukci přímo nad vodním tokem. Princip snímání je založen na emitaci elektromagnetického vlnění konstantní frekvencí, která se odrazí od hladiny zpět ke snímači. Vlivem Dopplerova jevu se frekvence odraženého vlnění liší v závislosti na rychlosti a směru pohybu. Dále je možné použít radary typu FMCW (Frequency Modulated Continuous Wave), nebo-li radary s kontinuálně modulovanými frekvenčními vlnami. Princip je takový, že radar vysílá elektromagnetické vlnění, jehož frekvence se v určených mezích spojitě mění. Odražené vlnění je poté zpožděno o dobu nutnou k překonání vzdálenosti k hladině řeky a zpět. V jednu chvíli se tedy vysílaná a přijímaná frekvence liší o rozdíl, který je přímo úměrný vzdálenosti od hladiny. Rozdíl frekvencí se vyhodnocuje složitým matematickým výpočtem pomocí rychlé Fourierovy transformace.

2.2.3 Ultrazvukové měření

Princip funkce ultrazvukového měření hladiny je takový, že piezorezistivní rezonátor v hlavě měřidla periodicky vysílá série ultrazvukových impulsů směrem k hladině, jejíž výška je měřena. Povrch látky poté působí jako reflektor od kterého se odrazí vysílané impulsy zpět k vysílači. Snímač odražené impulsy přijímá a vyhodnocuje čas, který uplynul mezi vysláním impulsu a přijetím jeho odrazu. Přejechod

piezorezistivního rezonátoru z režimu vysílání do režimu příjmu trvá určitou dobu, po kterou rezonátor není schopen registrovat příchozí odražený impuls. Tato doba určuje minimální vzdálenost měřitelnou senzorem, v literatuře se tato prodleva označuje jako tzv. *mrtvá zóna*, ve které senzor není schopen správně pracovat. V praxi se tato hodnota pohybuje v rozmezí od 0,2 do 1 metru.

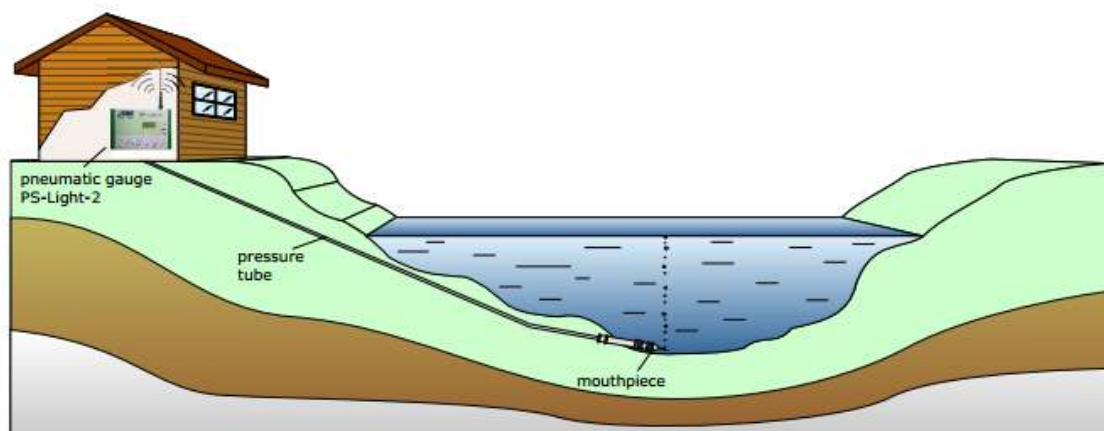


Obrázek 2.11 Vlevo: radarový snímač hladiny Micropilot M FMR230 (E+H) [23], vpravo: ultrazvukový snímač hladiny Prosonic T FMU30 (E+H) [23]

2.2.4 Tlakové měření

Metoda probublávání

Tato metoda je založena na principu měření tlaku vzduchu, který je tlačěn pomocí kompresoru v hadici ke dnu řeky. Konec vzduchové hadice není nijak zaslepen a v době, kdy se neměří se v hadici nachází voda. Voda se při sepnutí měření vytlačuje zpět a tím roste tlak až do doby, kde se vzduch dostane ke konci hadice a začne probublávat ven. Tato ustálená hodnota tlaku se poté změří pomocí tlakového čidla a zaznamená. Mezi nejznámější a u nás nejčastěji používané přístroje vyžívající metodu probublávání patří přístroje německé firmy SEBA Hydrometrics.



Obrázek 2.12 Princip měření metodou probublávání [24]

Hydrostatické měření

Hydrostatické snímače hladiny lze označovat jako převodníky tlaku, které měří výšku hladiny prostřednictvím hydrostatického tlaku. Jinak řečeno pomocí hydrostatického tlaku se neměří výška hladiny, ale hmotnost sloupce kapaliny nad místem odběru tlaku. Pro měření výšky hladiny se používají ponorné hydrostatické snímače převážně s keramickou měřicí membránou. Vlivy tlaku vzduchu na povrch kapaliny se vedou a kompenzují přes hadici vyrovnávání tlaku nosným kabelem k zadní straně keramické membrány. Membrána svým pohybem vyvolává na elektrodách nosiče změny kapacity, které se poté snímají elektronikou. Princip měření je zobrazen na obrázku pod tímto odstavcem, kde:

h - výška hladiny

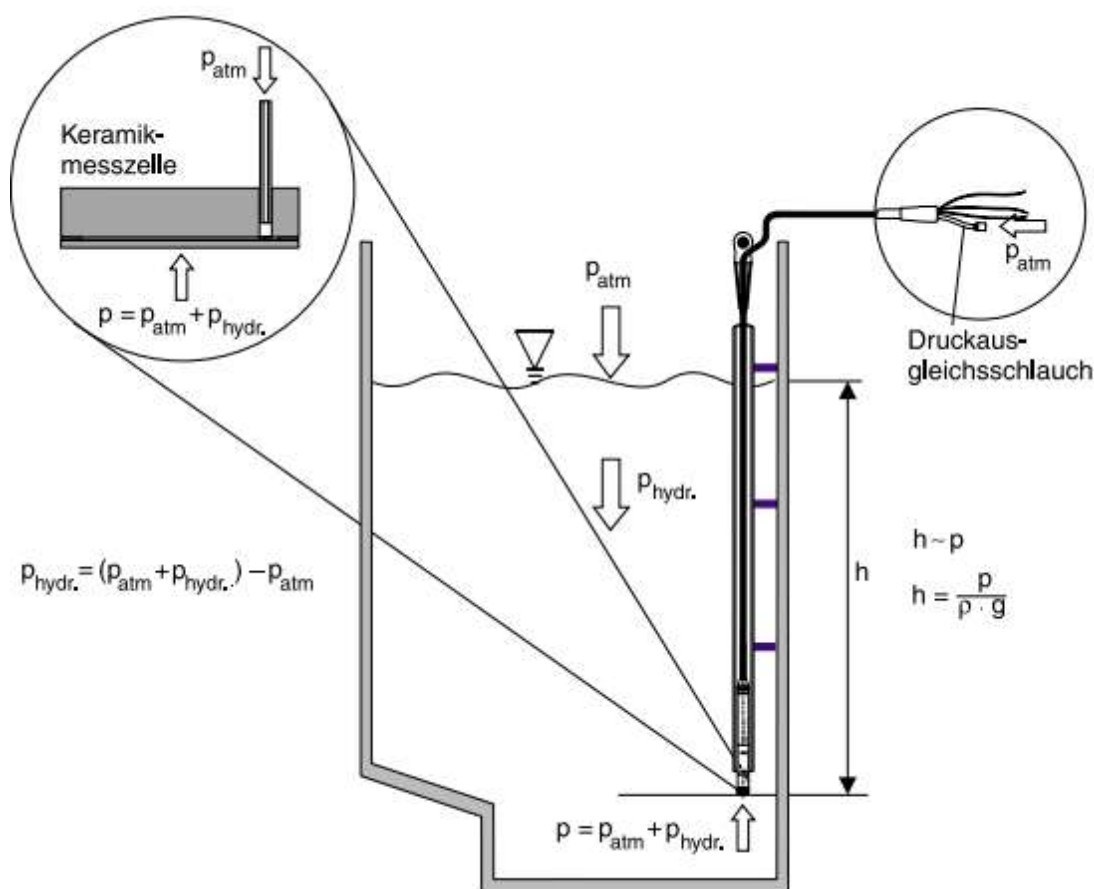
p - celkový tlak = hydrostatický + atmosférický tlak

ρ - hustota kapaliny

g - gravitační konstanta

$p_{hydr.}$ - hydrostatický tlak

p_{atm} - atmosférický tlak



Obrázek 2.13 Princip měření hydrostatickým snímačem [31]

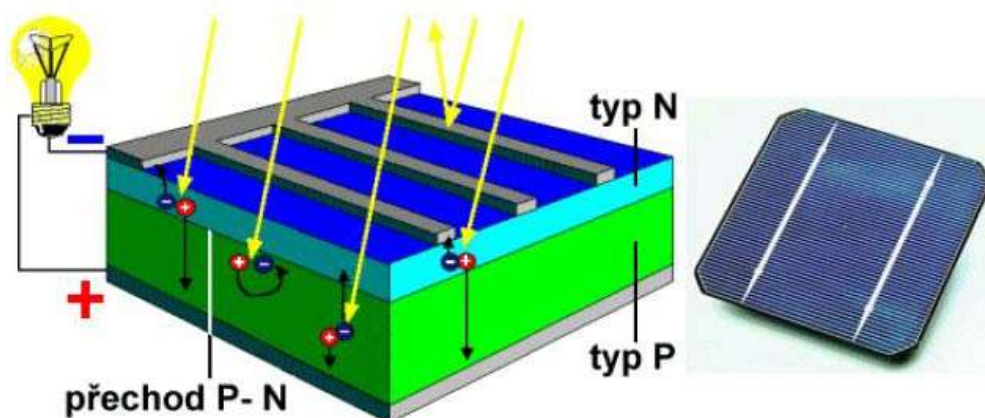
3 FOTOVOLTAICKÉ ČLÁNKY

Fotovoltaika je ekologické získávání elektrické energie ze slunečního svitu. Jedná se o metodu přímé přeměny slunečního záření na elektřinu (stejnsměrný proud) s využitím fotoelektrického jevu na velkoplošných polovodičových fotodiodách. Jednotlivé fotodiody (fotovoltaické články) jsou obvykle spojovány do větších celků z důvodu zvýšení napětí celého systému. Takto spojené články v celek se nazývají fotovoltaické panely.

3.1 Princip činnosti fotovoltaického článku

Fotovoltaický článek je velkoplošná součástka s charakteristikou polovodiče, který má schopnost pomocí fotovoltaického jevu přeměňovat sluneční záření na elektrickou energii. Fotony slunečního záření dopadají na přechod polovodiče a svou energií vystřelují elektrony z valenčního pásu do pásu vodivostního, tak jak je uvedeno na obrázku 3.1. Takto vzniklé volné elektrony se pomocí elektrod odvedou u nejjednodušších systémů přímo ke spotřebiči. V typickém solárním článku jsou vytvořeny dvě vrstvy s rozdílným typem vodivosti, kdy v jedné z vrstev je materiál typu N a jsou zde negativně nabitě elektrony a v druhé vrstvě je materiál typu P a jsou zde zastoupeny ve větší míře "díry." Díry jsou charakterizovány jako prázdná místa, která snadno přijímají elektrony. V bodě, kde se tyto dvě vrstvy střetnou, dochází ke spárování elektronů s děrami, čímž se vytvoří elektrické pole, které znemožní dalším elektronům v pohybu z N vrstvy do P vrstvy [1].

Solární články musejí být chráněny před vlivy prostředí, proto se umísťují mezi ochranné vrstvy, které mohou být tvořeny sklem nebo plastovou fólií. Protože napětí jednoho článku je nízké (přibližně 0,6 V), propojují se články sériově do větších celků, jimž se říká, jak již bylo uvedeno výše, fotovoltaické panely [2].



Obrázek 3.1 Struktura fotovoltaického článku [3]

3.2 Základní vlastnosti fotovoltaických panelů

V následujícím textu této práce jsou popsány základní vlastnosti, parametry, rozdělení a srovnání fotovoltaických panelů.

3.2.1 Proud nakrátko - I_{SC}

Proud nakrátko I_{SC} (Short Circuit) se měří pomocí ampérmetru a jedná se největší možný proud, který panel dokáže při 0 V daných podmínkách dodat. Velikost zkratového proudu uvádí výrobce každého panelu a hodnota tohoto proudu se pohybuje od mA do řádů A. Proud nakrátko je přímo úměrný spektrální citlivosti, která je popsána v kapitole 3.2.8, intenzitě záření, ploše fotovoltaického článku a také teplotě na panelu. Pro správné měření proudu nakrátko se používají přístroje s velmi malým vnitřním odporem.

3.2.2 Napětí naprázdno - U_{OC}

Napětí naprázdno U_{OC} (Open Circuit) jak již anglický název vypovídá, se měří na otevřeném okruhu, tedy na nezatíženém fotovoltaickém panelu. Napětí naprázdno je závislé na stejných parametrech jako u měření proudu nakrátko. Napětí naprázdno udává výrobce a v praxi se pohybuje v řádech voltů pro fotovoltaické panely, články poté mají hodnotu napětí kolem 0,5 až 0,6 V.

3.2.3 Okamžitý výkon - P

Okamžitý výkon P dodávaný fotovoltaickým panelem je dán součinem stejnosměrného napětí U a stejnosměrného proudu I . Okamžitý výkon je závislý stejně jako v předešlých případech na intenzitě záření, teplotě panelu atd. a také na zatěžovacím odporu. Změnou zatěžovacího odporu se mění VA charakteristika a tím také okamžitý výkon.

3.2.4 Maximální výkon - P_m

Maximální výkon P_m je bod VA charakteristiky, ve které dosahuje FV panel maximální výkon. Získá se odečtením U_m a I_m z výkonové charakteristiky. Výkonová charakteristika udává závislost výkonu dodávaného FV panelem na stejnosměrném napětí.

3.2.5 Pracovní bod

Pracovní bod je bodem charakteristiky, ve které FV panel pracuje nejefektivněji. Poloha pracovního bodu se liší v závislosti na použitém spotřebiči, neboli velikosti připojeného odporu.

3.2.6 Činitel plnění (FF)

Činitel plnění (Fill factor) je definován jako podíl maximálního výkonu FV panelu a výkonem daným napětím naprázdno a proudem nakrátko. Ideální faktor je roven 1, nicméně v praxi se dostává mírně pod úroveň 1 (0,7 až 0,8). Podle velikosti této hodnoty se hodnotí články z hlediska kvality. Čím větší je číslo, tím větší výkon je schopen dodávat do zátěže. Činitel plnění je přímo závislý na provedení kontaktů a odporu aktivní polovodivé vrstvy.

$$FF = \frac{U_m \cdot I_m}{U_{oc} \cdot I_{sc}} = \frac{P_m}{U_{oc} \cdot I_{sc}} \quad [-] \quad , [11] \quad (1)$$

3.2.7 Účinnost

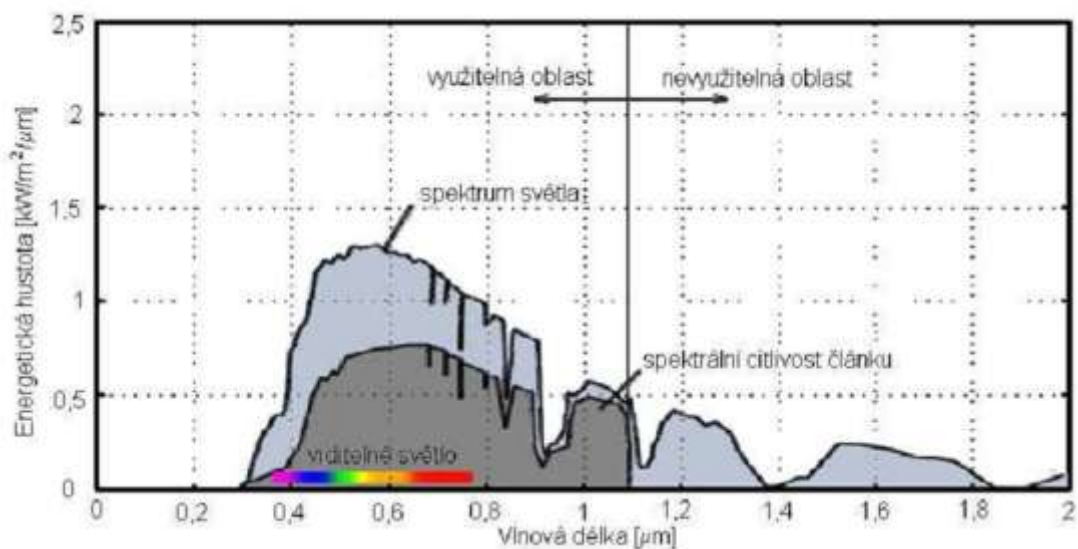
Účinnost FV panelů je přímo závislá na schopnosti přeměny pohlcované sluneční energie na energii elektrickou. Schopnost přeměny určuje druh materiálu, ze kterého je FV panel vyroben. Tento materiál má určitou spektrální citlivost a z dopadajícího záření využívá energii různých vlnových délek λ s různou účinností. Účinnosti pro jednotlivé typy FV panelů jsou uvedeny ve srovnávací tabulce 3.1.

$$\eta = \frac{P_m}{P_{in}} = \frac{U_{oc} \cdot I_{sc} \cdot FF}{S \cdot E} = \frac{U_m \cdot I_m}{S \cdot E} \quad [\%], [11] \quad (2)$$

kde: P_{in} - výkon dopadajícího záření
 S - aktivní plocha panelu [cm^2]
 E - intenzita osvětlení [Wm^{-2}]

3.2.8 Spektrální citlivost S

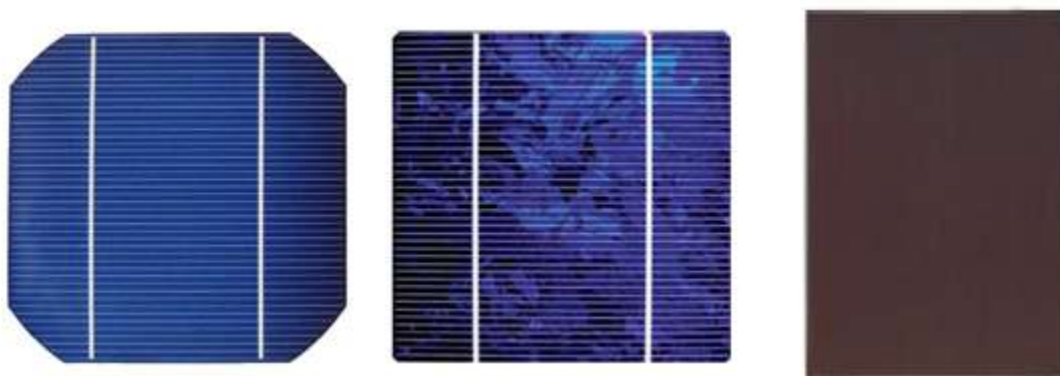
Spektrální citlivost FV článku je u fotovoltaických článků důležitým parametrem. Podle použitého materiálu je FV panel schopen využít pouze část oblasti světelného záření. V dnešní době je nejpoužívanějším materiálem křemík, ten je schopen využít světelné záření do maximální vlnové délky $\lambda = 1,1 \mu\text{m}$, to odpovídá energii fotonů větší než 1,12 eV. Množství těchto fotonů není ve spektru světelného záření rozprostřeno rovnoměrně. Na obrázku 3.2 je spektrum slunečního záření a spektrální citlivost křemíkového FV článku včetně vyznačených hranic využitelného pásma spektra [11].



Obrázek 3.2 Spektrální citlivost křemíkového FV článku [11]

3.3 Rozdělení fotovoltaických panelů

Dle typu solárních článků lze fotovoltaické panely rozdělit do tří významných skupin: monokrystalické panely, polykrystalické panely a amorfní panely.



Obrázek 3.3 Zleva: monokrystalický, polykrystalický a amorfní článek [4]

3.3.1 Panely s monokrystalickými články

V našich podmínkách jsou monokrystalické panely hojně používány. Krystaly křemíku jsou větší než 10 cm a vyrábí se chemicky tažením roztaveného křemíku ve formě tyčí o průměru až 300 mm. Tyto tyče se poté rozřezou na tenké plátky. Účinnost těchto panelů se pohybuje v rozmezí od 13 do 17% [2].

3.3.2 Panely s polykrystalickými články

Polykrystalické panely jsou podobné jako monokrystalické, kde základem je křemíková podložka. Fotovoltaické články jsou složené z většího počtu menších polykrystalů, což je rozdíl oproti monokrystalickým panelům. Účinnost polykrystalických článků se pohybuje v rozmezí od 12 do 14% [2]. Jejich výroba je ale v porovnání s monokrystalickými panely mnohem jednodušší, tedy i levnější a rychlejší.

3.3.3 Panely s amorfními články

Základem amorfních panelů je napařovaná křemíková vrstva, která je v tenké vrstvě nanесena na sklo nebo fólii. Účinnost těchto panelů se pohybuje v rozmezí od 7 do 9% [2]. Pro dosažení daného výkonu je potřeba 2 až 3x větší plochy, než kolik by bylo potřeba při použití monokrystalických nebo polykrystalických panelů. Na trhu jsou ale tyto panely nejlevnější.

Tabulka 3.1 Srovnání vlastností jednotlivých článků

Typ článku	Účinnost článku [%]	Výhody/nevýhody
Monokrystalický článek	13 - 17	Nejvíce rozšířené články, velká účinnost, poměrně vysoká cena
Polykrystalický článek	12 - 14	Levná a rychlá výroba, uspokojivá účinnost, ale lepší účinnost při nedostatku slunečního záření
Amorfni článek	7 - 9	Je nutná větší plocha pro dosažení daného výkonu, levná výroba, malá účinnost

4 AKUMULÁTORY A JEJICH VLASTNOSTI

Tato kapitola je věnována akumulátorům, jejich vlastnostem a způsobu nabíjení za účelem výběru vhodného typu akumulátoru pro danou aplikaci.

4.1 Kapacita

Kapacita udává množství elektrického náboje, kterou je akumulátor schopen pojmout. Jednotkou kapacity je mAh (miliampérhodina) nebo Ah (ampérhodina). To znamená, že například akumulátor s kapacitou 20 Ah dokáže dodávat proud 2 A po dobu 10 hodin. Potom je akumulátor vybit a při zatížení neudrží napětí.

4.2 Samovybíjení

Samovybíjení je chemická reakce, při které se akumulátor i bez zapojení ke spotřebiči vybíjí. Rychlost samovybíjení závisí jednoznačně na typu použitého akumulátoru a na okolní teplotě. Samovybíjení se udává v procentech a počítá se jako rozdíl hustoty náboje po plném nabití akumulátoru a hustoty náboje např. po měsíci.

4.3 Poměry nabíjecí/vybíjecí proud

Pojem poměrný nabíjecí nebo vybíjecí proud je zaveden z toho důvodu, aby bylo možné vyjádřit velikost nabíjecího či vybíjecího proudu. Jsou to charakteristické údaje pro jednotlivé typy akumulátorů, nezávisle na konkrétní kapacitě článku. Poměr se udává v jednotkách mA nebo A jako násobek čísla C, které zastupuje jmenovitou číselnou hodnotu kapacity. Je-li např. článek o kapacitě 2200 mAh nabíjen (vybíjen) poměrným proudem 2 C, znamená to, že v absolutním vyjádření jde o proud 2x 2,2 Ah, tedy 4,4 A.

4.4 Vnitřní odpor

Vnitřní odpor akumulátoru musí být co nejnižší, jinak není zaručeno, že bude dodávat plný výkon a že udrží stálé napětí při odběru vyššího proudu. U NiMh článků se vnitřní odpor zvětšuje následkem častého nabíjení. V tomto směru jsou na tom nejlépe NiCd články, jejichž vnitřní odpor se téměř nemění. Pokud se vnitřní odpor článků zvýší, nedokáže akumulátor udržet napětí. Nejnižší hodnotu vnitřního odporu vykazují články NiCd (100 mΩ), následovány typy Li-Ion (150 mΩ). Nejhuře na tom jsou články NiMh, jejichž vnitřní odpor je přes 200 mΩ, v důsledku špatné údržby odpor může vzrůst až na 350 mΩ (hodnoty samovybíjení převzaté z [19]).

4.5 Paměťový efekt

Tento jev vzniká při opětovném vybíjení akumulátorů (min. 50 - 100x) na malou, ale vždy stejnou hloubku vybití (především u NiCd akumulátorů). Jeho podstatou jsou změny krystalové struktury záporné elektrody. Jedná se o reverzibilní jev snadno odstranitelný plným vybitím akumulátoru. Projevem paměťového efektu je vznik tzv. druhého vybíjecího stupně, což je náhlý pokles napětí akumulátorového článku zhruba o 50 až 100 mV, přičemž nedochází k poklesu kapacity článku. Paměťový efekt postihuje především NiCd akumulátory, u NiMH hrozí efekt "líné baterie." Oba tyto jevy vznikají jednak při opakovaném vybíjení na stejnou hloubku vybití (jak je popsáno výše) a také vznikají v důsledku častého nabíjení příliš nízkým proudem (např. 0,2 C). Oba efekty jsou podobné - až na jeden rozdíl. Efekt líné baterie nenastává tak náhle jako efekt paměťový [8].

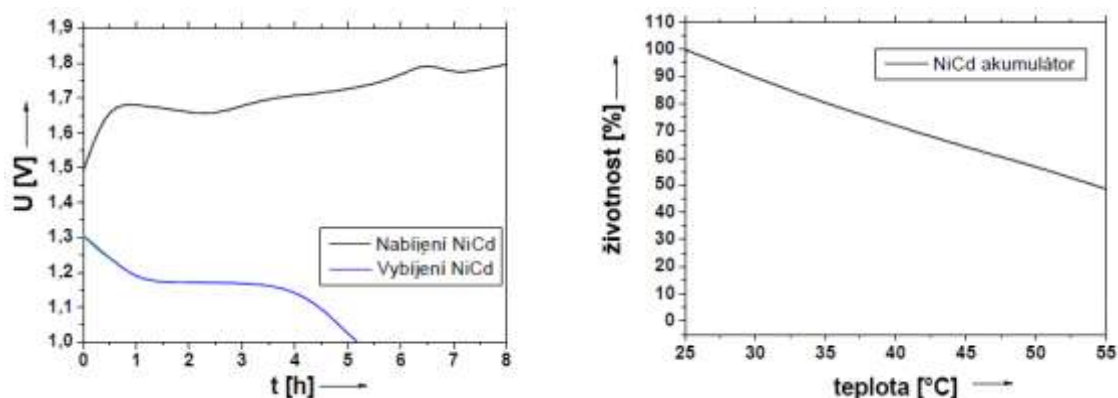
4.6 Nejčastěji používané typy akumulátorů

4.6.1 NiCd akumulátor

Niklo-kadmiový akumulátor se vyrábí jak se zaplavenými elektrodami a kapalným elektrolytem (např. velké staniční baterie) tak i jako hermetizovaný (např. akumulátory do přístrojů jako jsou akumulátorové vrtačky, apod.).

Mezi výhody NiCd akumulátoru patří možnost jej skladovat ve vybitém stavu a tím pádem docílit větší odolnosti proti hlubokému vybití. Nevýhodou ve srovnání s NiMH a Li-ion akumulátory je jeho nízká měrná kapacita. Problematickým rysem tohoto akumulátoru je jedovatost kadmia, z něhož se skládá záporná elektroda. Elektrolytem je 20 – 22 % roztok hydroxidu draselného (KOH), nebo hydroxidu solného NaOH s destilovanou vodou. Kladnou elektrodu tvoří vždy oxid nikelnatý s příměsemi, které vylepšují vodivost elektrolytu. Jako příměs se používá například grafit. Záporná elektroda je tvořena podle typu akumulátoru a to vždy směsí kadmia, železa a oxidů železa. Svými vlastnostmi se jinak podobá novějšímu NiMH akumulátoru.

Akumulátory se skladují nejlépe ve vybitém stavu, při teplotě blízké +5 až +25 °C. Provozní teplota NiCd akumulátorů se uvádí v rozmezí mezi -15 až +50 °C. Před použitím po dlouhodobém uskladnění je nutno provést 2 až 3 nabíjecí cykly, aby se aktivní hmoty uvedly do plného provozu. Vzhledem k samovybíjení je lepší články, které často nepoužíváme nabíjet až před použitím [5].

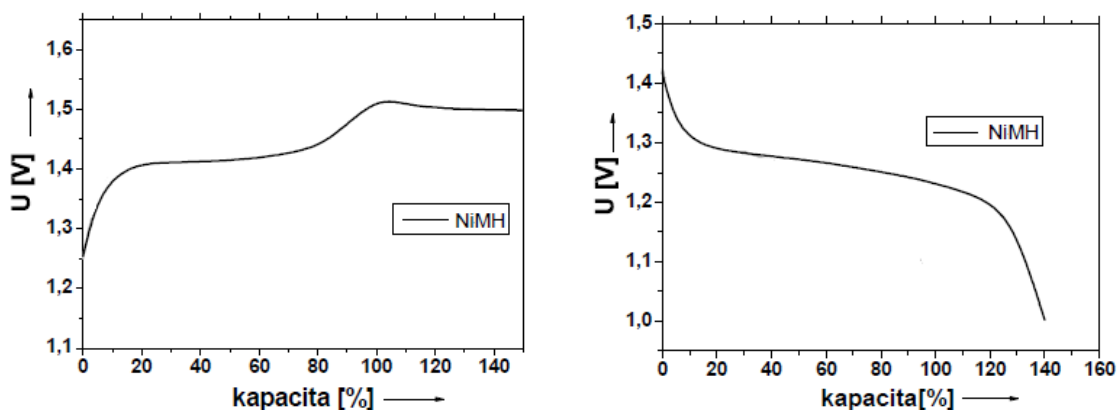


Obrázek 4.1 Levý graf: nabíjecí a vybíjecí charakteristika NiCd akumulátoru, pravý graf: Životnost NiCd akumulátoru v závislosti na skladovací teplotě [6]

4.6.2 NiMH akumulátor

Nikl-metal hydridový akumulátor je jeden z nejpoužívanějších druhů akumulátorů. Ve srovnání s jemu podobným nikl-kadmiovým akumulátorem má přibližně dvojnásobnou kapacitu. Hlavními důvody jeho velkého rozšíření je značně velká kapacita a schopnost dodávat velký proud. Určité omezení představuje jeho napětí, které je 1,2 V na článek a je nižší než napětí běžných baterií na jedno použití s 1,5 V. Jeho předností je především to, že nemá paměťový efekt (viz kapitola 4.5), nevýhodou ale zůstává malá výdrž při nízkých teplotách, velké tepelné ztráty při nabíjení a velká úroveň samovybíjení, která je rovna 15-30 % za měsíc při pokojové teplotě (u standardních NiMH). Při nižších teplotách se samovybíjení podstatně snižuje.

Kromě nich existují NiMH akumulátory s nízkou úrovní samovybíjení (typ LSD = Low Self-Discharge). Tento typ NiMH zachová okolo 90 % energie po půl roce, 85 % po roce a 70 % po dvou letech při teplotě okolo 20 °C. Skladování NiMH akumulátorů je možné v nabitém i vybitém stavu. Je ale nutné minimálně 3x v průběhu jednoho roku články nabít a vybit. Pokud se údržba zanedbá, dochází k obdobnému jevu jako při skladování vybitých olověných akumulátorů. Vlivem chemických reakcí dojde k znehodnocení elektrod akumulátoru a k nevratné ztrátě kapacity [7].



Obrázek 4.2 Levý graf: nabíjecí charakteristika NiMH akumulátoru, pravý graf: vybíjecí charakteristika NiMH akumulátoru [7]

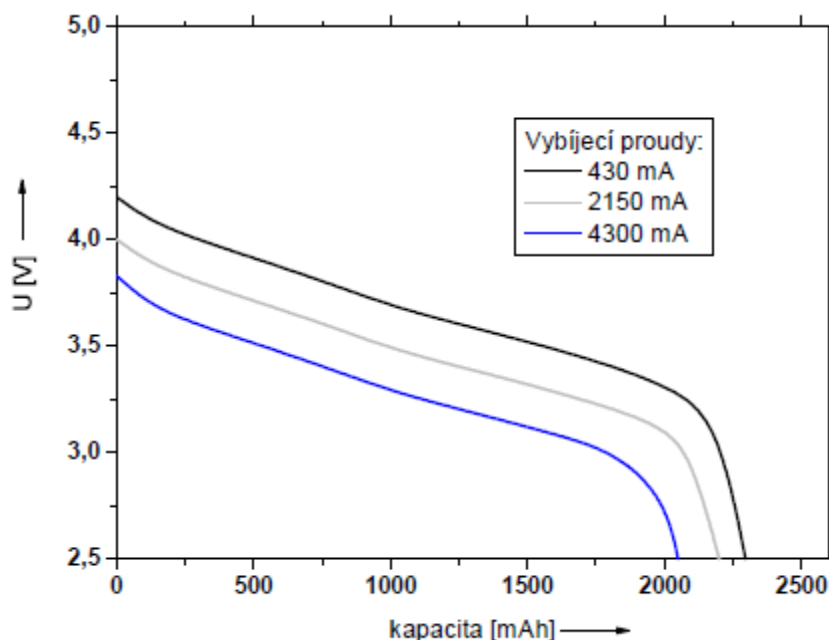
4.6.3 Li-Ion akumulátor

Lithium-iontový akumulátor je druh nabíjecí baterie běžně používané ve spotřebitelské elektronice, především v mobilních telefonech. Kvůli vysoké hustotě energie a vzhledem k objemu se výborně hodí pro přenosná zařízení. V současnosti je to v této oblasti asi nejvíce používaný typ. Chemický princip je velmi podobný jako u lithium-polymerových bateriích. Anoda je vyrobená z uhlíku, katoda je z oxidu kovu a elektrolytem je lithiová sůl v organickém rozpouštědle.

Hlavní přednosti tohoto akumulátoru jsou určité ve větší kapacitě (oproti NiMH až 3x), dále má tento typ akumulátoru velice malý samovybíjecí cyklus - do 5 % za rok a tím pádem i vyšší životnost. Nevýhodou u Li-Ion akumulátorů bývá, že se nesmí nechat úplně vybit a při nabíjení hrozí nebezpečí výbuchu nebo vznícení. Napětí naprázdno Li-Ion článku se pohybuje v rozmezí 3,6 V – 3,7 V. Existují však články s napětím i 4,2 V. Vnitřní odpor je v porovnání s Ni-Cd články vyšší, proto se Li-Ion článek nehodí pro aplikace s velkým odběrem proudu. Životnost článku se pohybuje dle typu kolem 500 nabíjecích a vybíjecích cyklů, poté jeho hodnota klesá o 10 až 20 %. U Li-Ion článků neexistuje paměťový efekt, a článek je tedy možno dobíjet z jakékoli úrovně vybití.

Kladná elektroda je tvořena sloučeninami kovů např. LiCoO_2 , LiMnO_2 , záporná elektroda je uhlíková. Elektrody mají vysoce porézní povrch. Matrice je konstruována tak, aby snadno přijímala a odevzdávala ionty lithia. Jako elektrolyt se používá lithiová sůl LiPF_6 , LiBF_4 , nebo LiClO_4 a organické rozpouštědlo. Kapalný elektrolyt je vodivý pro ionty lithia, které při procesu nabíjení a vybíjení putují mezi kladnou a zápornou elektrodou. Jako separátory jsou obvykle používány tenké porézní fólie z polyetylenu i polypropylenu.

Typické vybíjecí křivky v závislosti na vybíjecím proudu jsou zobrazeny na obrázku 4.3. Při vyšších vybíjecích proudech se snižuje svorkové napětí, ale křivka zůstává po 80% doby vybíjení plochá [7].



Obrázek 4.3 Vybíjecí charakteristiky Li-Ion akumulátoru [7]

4.6.4 Pb akumulátor

Olověný akumulátor je zařazen mezi sekundární zdroje stejnosměrného napětí a to hlavně proto, že na rozdíl od galvanických článků se mezi jeho elektrodami ani po nalití elektrolytu nenachází elektrické napětí a tak ho musíme nejprve nabít. Teprve potom se mezi jeho elektrodami objeví elektrické napětí.

Olověný akumulátor má omezení, které spočívá v tom, že když je vybit (i částečně) a delší dobu v tomto stavu setrvává tak na jeho elektrodách dochází k prakticky nevratným změnám tzv. sulfataci, která výrazně snižuje jeho kapacitu. Proto poté, co je olověný akumulátor používán, je potřeba ho brzy dobít. Sulfataci rozumíme přeměnu síranu olovnatého, který vznikl vybíjecím procesem na kladné elektrodě z oxidu olovičitého, který za poměrně krátkou dobu přechází do nerozpustné formy a již se nabíjecího procesu nezúčastňuje a tím postupně klesá kapacita olovného akumulátoru. K tomu, aby se vždy přeměnil všechnen síran olovnatý na oxid olovičitý je potřeba akumulátor dobíjet malým proudem, až je dosaženo 2,76 V na článek s připojeným zdrojem. Při tomto napětí je všechnen síran olovnatý na kladné elektrodě již přeměněn na oxid olovičitý. Tento proces nám ale nezajistí zdroj se stálým napětím. Tento proces je schopen dovést do konce jen nabíjecí zdroj se stálým proudem. Olověné

akumulátory mají velice dlouhou životnost (5 až 15 let) a malý samovybíjecí proud (2 – 3 % kapacity za měsíc), nevýhodu ale zůstává nemožnost úplného vybití (doporučuje se max. vybití na 30 - 40 % kapacity) [9].

V nabitém stavu aktivní hmota záporné elektrody tvoří houbovitě olovo (Pb), u kladné elektrody je to oxid olovičitý (PbO_2). Elektrolytem v olověných akumulátorech je vodou zředěná kyselina sírová (H_2SO_4) o koncentraci cca 35 % objemu u plně nabitého akumulátoru. Tento roztok bývá z technických důvodů nasáknutý do vaty ze skelných vláken nebo ztužený do formy gelu [9].

4.6.5 LiFePO₄ akumulátor

Lithium-železo-fosfátový akumulátor je specifický druh akumulátoru, který dostal jméno podle materiálu použitého na katodu a sice LiFePO_4 . Anoda je jako u ostatních Li-Ion baterií vyrobena z uhlíku. Mezi hlavní přednosti LiFePO_4 akumulátorů oproti klasickým lithium iontovým akumulátorům patří především schopnost dodat vyšší proud a také to, že při extrémních podmínkách nevybuchují. Na druhou stranu mají o něco nižší napětí a také nižší hustotu energie (při stejném objemu mají nižší kapacitu). LiFePO_4 technologie je zajímavá hlavně díky svým benefitům jako jsou: nízké výrobní náklady, netoxičita (narozdíl od klasických Li-Ion), výjimečná teplotní stabilita, velmi dobrý elektrochemický výkon a vysoká kapacita až 170 mAh/g (hodnota převzata z [12]).

4.6.6 Porovnání vlastností uvedených typů akumulátorů

Následující tabulka 4.1 zahrnuje a porovnává základní vlastnosti akumulátorů uvedených výše.

Tabulka 4.1 Porovnání vlastností jednotlivých akumulátorů (převzato z [13])

-	NiCd	NiMH	Li-Ion	Pb	LiFePO ₄
Nominální napětí článku [V]	1,2	1,2	3,6	2	3,2
Hustota energie [Wh/kg]	70	100	180	40	150
Nabíjecí proud [C]	1-5	1-2	1	<1	1-5
Samovybití při 20°C [%/měsíc]	20-25	15-30	2-5	10-15	2-3
Počet nabíjecích cyklů (při 80% hloubce vybití)	1000	800	>1500	500	<2000
Optimální proudová zatížitelnost	1	0,5	5	0,2	0,5
Rozsah provozních teplot [°C]	-40 - 50	-10 - 40	-20 - 50	-20 - 50	-30 - 70
Životnost [rok]	>5	3-4	>10	5-15	>10

4.7 Nabíjení akumulátorů

V této kapitole jsou popsány nabíjecí režimy akumulátorů a metody ukončování nabíjení, které se v praxi používají.

4.7.1 Nabíjecí režimy akumulátorů

Akumulátory je možné nabíjet různými proudy, které umožňují různě rychlé nabití. Doba nabíjení se pohybuje od několika málo minut až do několika hodin. Velikost nabíjecího proudu je omezena výrobcem akumulátoru, který udává maximální přípustný nabíjecí proud článku. Níže uvedené podkapitoly zachycují čtyři skupiny nabíjecích režimů.

4.7.1.1 Pomalé nabíjení

Pomalé nabíjení patří mezi bezpečné a spolehlivé metody nabíjení akumulátorů. Nabíjení probíhá proudem o velikosti $1/10$ kapacity nabíjeného článku (např. pro článek 2200 mAh je nabíjecí proud stanoven na 220 mA). Ze zlomku $1/10$ kapacity (C) nabíjeného proudu lze také velice jednoduše odvodit dobu nabíjení, která se u tohoto typu nabíjení pohybuje od 10 do 16 hodin. U tohoto typu nabíjení není potřeba hlídat konec nabíjení, protože dojde-li k přebíjení akumulátoru, tak se přebíjecí proud přemění na teplo, které není nijak velké a nemůže poškodit akumulátor.

4.7.1.2 Zrychlené nabíjení

Zrychlené nabíjení je velice hojně používané u starších typů nabíječek, kde se nabíjecí proud pohybuje mezi $1/7 - 1/3$ C. Nabíjecí čas pro tento typ nabíjení je poté 3-7 hodin v závislosti na použitém akumulátoru. Při zrychleném nabíjení už je na místě zvážit použití snímání teploty jednotlivých článků, jelikož při nedodržení stanoveného času může dojít k poškození akumulátoru. Jako vhodný ukončení nabíjení pro toto nabíjení je zcela jistě dU/dt (změna napětí v čase).

4.7.1.3 Rychlé nabíjení

Rychlé nabíjení probíhá proudem o velikosti $1 - 2$ C, v některých případech i $1 - 5$ C (záleží na typu baterie). Akumulátory nabíjené touto metodou by měli mít teplotní čidlo pro případnou úpravu nabíjecího proudu. S takovými to akumulátory se ale setkáme pouze v ojedinělých případech. Mnohdy problém s teplotou článků akumulátoru řeší přímo nabíječka, která hlídá stav teploty a případně upravuje velikost nabíjecího proudu. Tato metoda nabíjení vyžaduje automatické ukončení nabíjení pomocí delta-peak, inflexního bodu. V opačném případě se při tomto nabíjení nedoporučuje ukončovat nabíjení časovačem.

4.7.1.4 Udržovací nabíjení

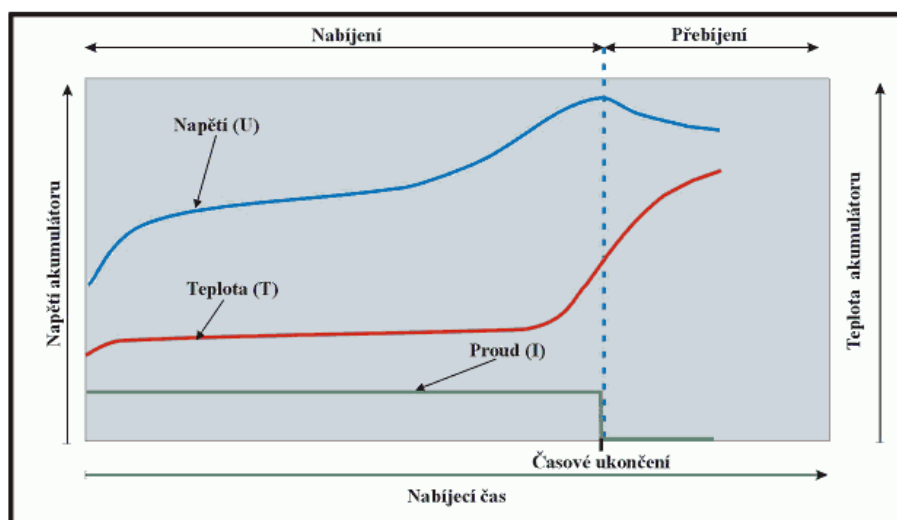
Udržovací nabíjení se používá po dokončení nabíjení pomocí výše uvedených metod, v záměru kompenzovat samovybíjení a udržovat akumulátor v nabitém stavu. Udržovací proud se pohybuje od 1/20 do 1/50 a je doporučován výrobcí baterií. Většina inteligentních nabíječek tuto vlastnost má.

4.7.2 Metody pro ukončování nabíjení

Jak jsem uvedl v předchozích kapitolách, ukončování nabíjení je velice důležité pro ochranu akumulátoru, především nabíjíme-li větším proudem. K tomu, aby nedošlo ke snižování životnosti článků, či poškození akumulátoru vlivem přebíjení se používají následující čtyři základní metody pro ukončení nabíjecího cyklu.

4.7.2.1 Časové ukončení

Tato nabíjecí metoda byla dříve používána nejčastěji. Dnes už se používá převážně u levnějších nabíječek. Touto metodou jsou vždy nabíjeny akumulátory určené pro zkušební účely. Princip ukončení spočívá pouze v tom, že obvod s časovačem spustí časový interval (v rozmezí 14 – 16 hodin), ve kterém je článek nabíjen konstantním proudem. Tento časový interval je mnohdy předem nastaven pro určitou kapacitu článku. To způsobuje, že článek s vyšší kapacitou je odpojen dříve, než je zcela nabitý a článek s malou kapacitou zase odpojen déle a přebíjen proudem do ukončení časovače. V případě nabíjení velkým proudem může dojít až k destrukci samotného článku. Další nevýhoda této metody nastává, pokud vložíme článek s ideální kapacitou pro nastavený čas a článek není zcela vybitý. Tím je článek nabitý dříve a dochází dále k přebíjení tohoto článku. Z těchto důvodů se pro tuto metodu používají proudy menší než 0,2 C, aby nedocházelo k velkému poškození článku. Metoda se dá tedy použít pro pomalé nabíjení [11].



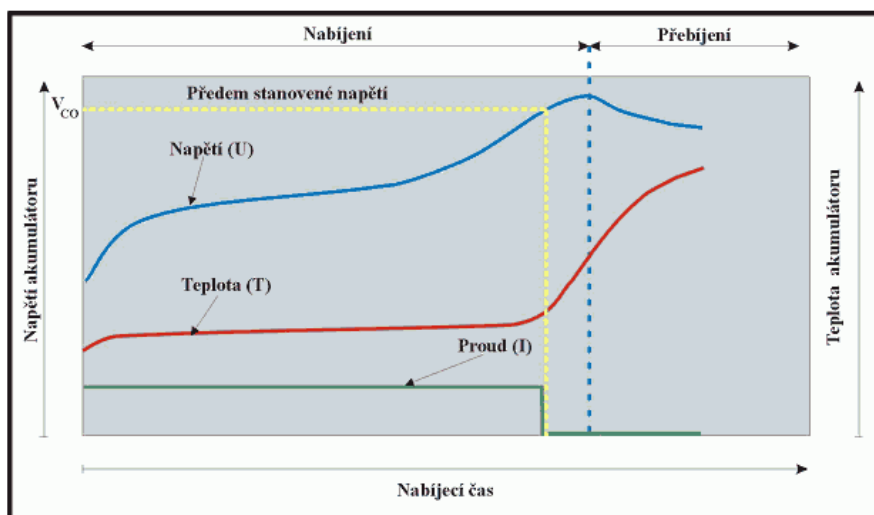
Obrázek 4.4 Metoda časového ukončování [10]

4.7.2.2 Napět'ové ukončení

Tuto metodu využívají především dnešní nabíječky, princip metody vychází ze znalosti závislosti napětí článku na čase. Tedy jak se v průběhu nabíjení mění velikost napětí článku. Pro ukončení nabíjení mohou být využity tyto metody:

Metoda V_{CO}

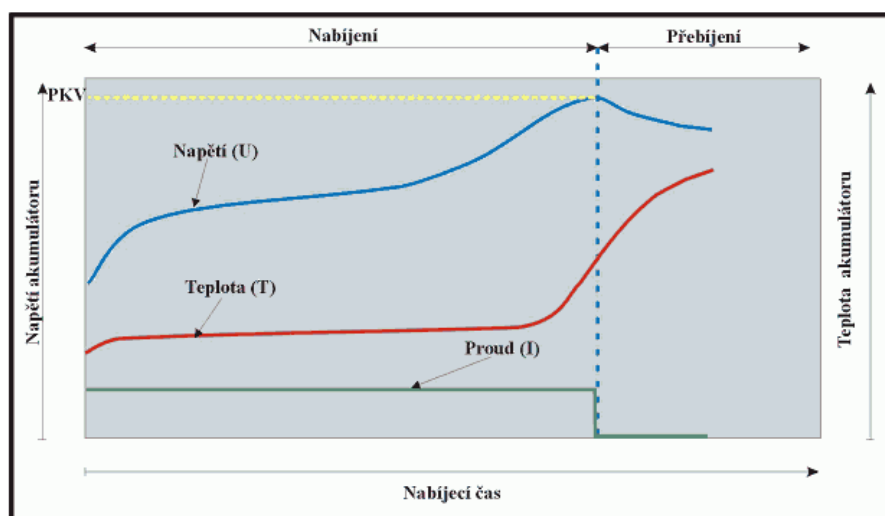
Metoda V_{CO} je ukončení nabíjení při dosažení předem stanoveného napětí. Toto napětí bývá značené V_{CO} ($CO = cut-off$). Napětí V_{CO} je předem dané a stanovuje se většinou podle katalogových nabíjecích křivek pro daný akumulátor. Nevýhodou tohoto systému je, že průběh napětí při nabíjení se mění jak teplotou, tak nabíjecím proudem, ale i podle druhu elektrod v akumulátoru. Proto se tato metoda používá pouze jako dodatková metoda k ostatním metodám. Tato metoda se používá především pro NiCd akumulátory [10].



Obrázek 4.5 Metoda napět'ového ukončení V_{CO} [10]

Metoda PKV

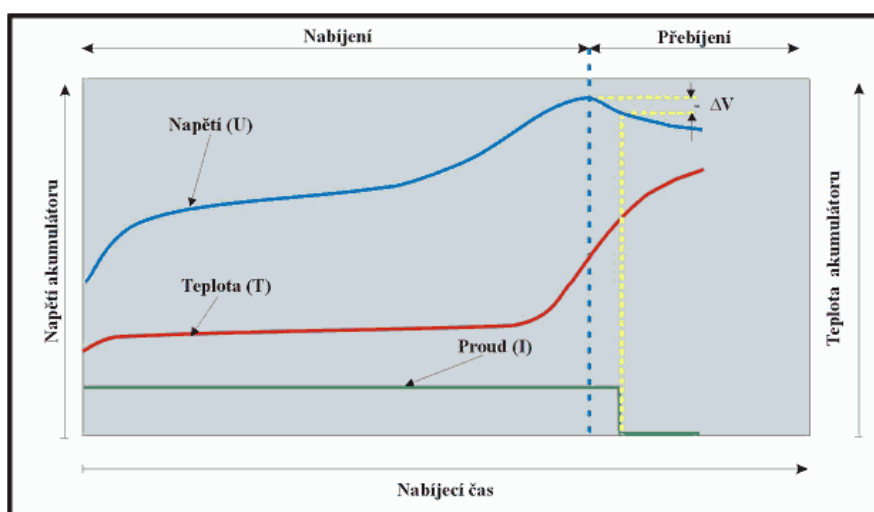
Druhou metodou je ukončení nabíjení při dosažení vrcholu napětí (peak voltage detection, odtud zkratka PKV). Tento vrchol se označuje PKV. Nabíjení je ukončeno v momentě nejvyššího napětí. Tato metoda se využívá pro rychlé nabíjení, tedy při nabíjecím proudu $2 I_t$ až $0,5 I_t$. Pro menší proudy je stanovení PKV velice obtížné, respektive PKV neexistuje a pro proudy větší (při ultrarychlém nabíjení), je tato metoda zkreslována zahříváním akumulátoru a poklesem napětí v momentě oteplování akumulátoru. Rovněž ze stejného důvodu není metoda vhodná pro nabíjení akumulátorů za teplot vyšších nežli pokojových [10].



Obrázek 4.6 Metoda napěťového ukončení PKV [10]

Metoda $-\Delta V$

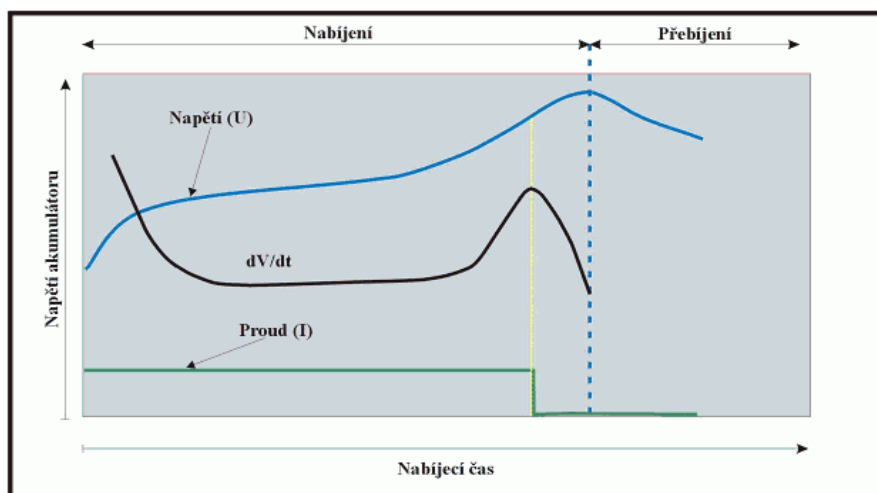
Metoda indikace poklesu napětí na konci nabíjení, se nazývá $-\Delta V$. Nabíjení se ukončí, pokud pokles napětí na jednom článku je 10 mV. Tato hodnota platí pro NiCd akumulátory. Pro NiMH akumulátory je vhodné indikovat pokles napětí 5 mV na článek. Metoda je to nejrozšířenější, ale má i své slabé stránky. V první řadě je to, že ji lze pro NiCd akumulátory aplikovat jen pro proudy o velikosti $2 I_t$ až $0,5 I_t$, což odpovídá rychlému popř. zrychlenému nabíjení. Při nabíjení proudem nižším než $0,5 I_t$ již nedochází k poklesu napětí na konci nabíjení. Pro proudy větší než $2 I_t$, tedy pro ultra rychlé nabíjení, není též nejvhodnější. Nabíjení je ukončeno až po krátkém přebíjení, které snižuje životnost zdroje (viz obrázek 4.7). Použití této metody nejčastěji najdeme v komerčních nabíječkách pro rychlé nabíjení [10].



Obrázek 4.7 Metoda napěťového ukončení $-\Delta V$ [10]

Metoda d^2V/dt^2

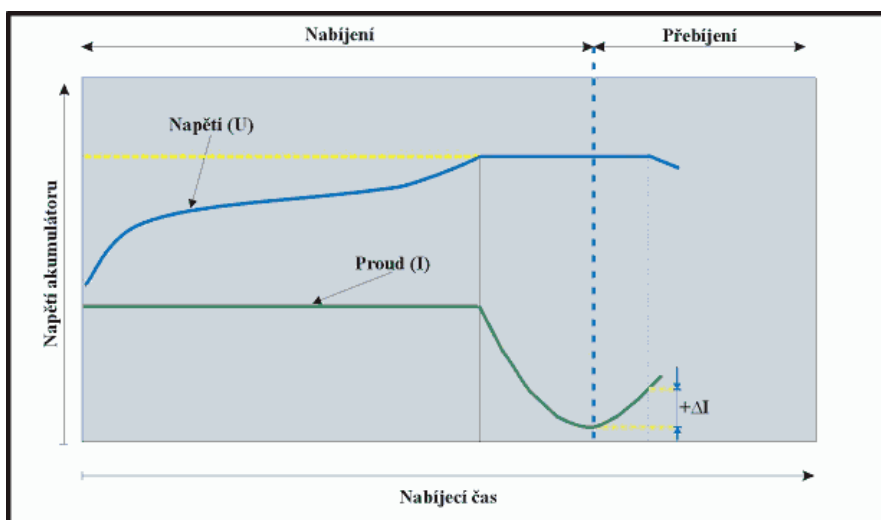
Podobnou metodou jako je $-\Delta V$ je sledování druhé derivace napětí v čase (d^2V/dt^2). Nabíječ snímá napěťovou křivku a zastaví nabíjení v okamžiku zaznamenání napěťové derivační špičky. Tato nabíjecí metoda zvyšuje životnost akumulátorových baterií, protože nedochází k přebíjení baterie (viz obrázek 4.8) [10].



Obrázek 4.8 Metoda napěťového ukončení d^2V/dt^2 [10]

4.7.2.3 Proudové ukončení

Baterie se nabíjí konstantním proudem až do doby, kdy dosáhne předem určeného napětí. Poté přechází baterie na nabíjení konstantním napětím. Nabíjení se ukončí při nárůstu velikosti nabíjecího proudu při konstantním napětí. Problémem může být nabíjení za zvýšené teploty nebo zahřátých akumulátorů. V tomto případě totiž může nastat situace, kdy předem zvolené napětí akumulátor nikdy nedosáhne. [10].



Obrázek 4.9 Metoda proudového ukončení [10]

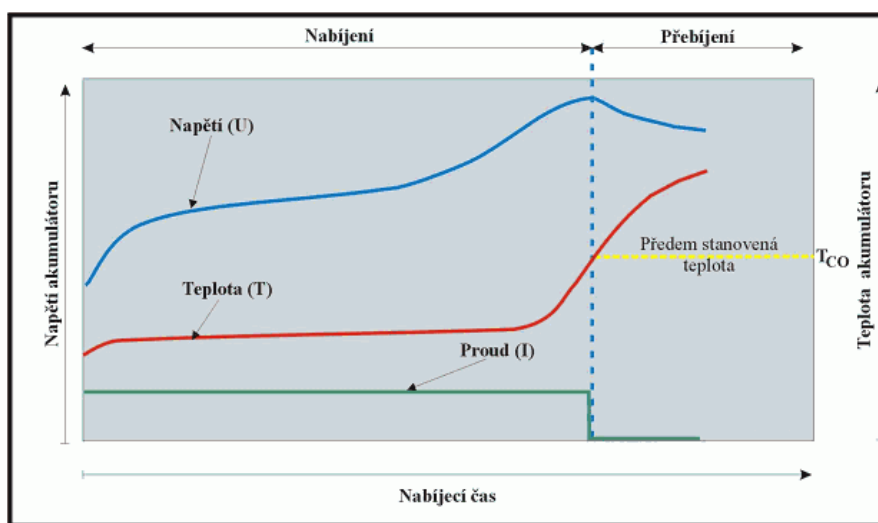
4.7.2.4 Teplotní ukončení

Základní teplotní metody ukončení nabíjení jsou dvě. Nejčastěji se s nimi setkáváme v mobilních telefonech, radiostanicích, notebookech a akumulátorovém nářadí. Teplota se snímá většinou termistorem, který se umísťuje na plášť akumulátorového článku. Poloha termistoru je velice důležitá. Termistor, který není přímo na plášti akumulátoru, neudává přesné informace, popřípadě udává velice zpožděné informace o teplotě akumulátoru. Používají se termistory typu NTC, které při zvýšení teploty snižují svou hodnotu rezistence [10].

Metoda TCO

Metoda „TCO“ vypíná nabíjecí proud v okamžiku dosažení předem dané teploty, většinou to bývá kolem $+45\text{ }^{\circ}\text{C}$.

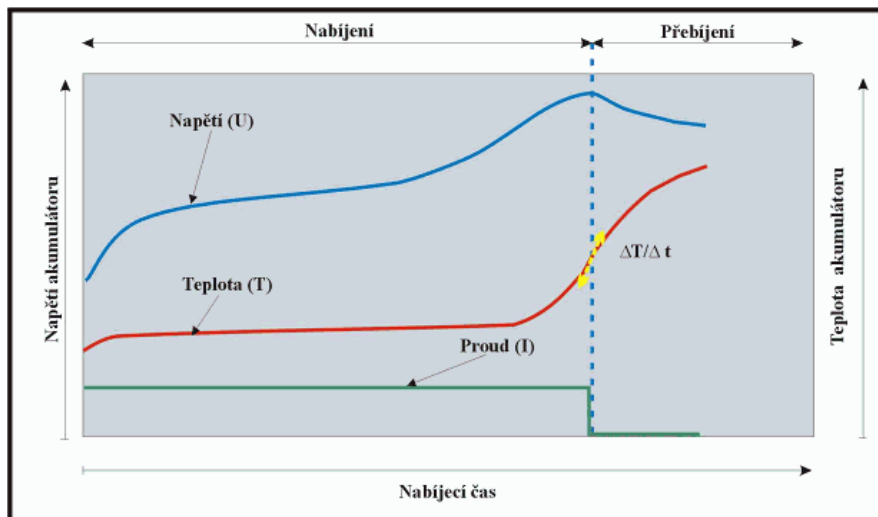
Tento druh nabíjení se doporučuje u akumulátorů do 2 Ah s nabíjecím proudem 0,5 It až 1 It a u akumulátorů s větší kapacitou proudem cca 0,3 It. Metoda není vhodná pro nabíjení akumulátorových baterií s teplotou nízkou, nebo naopak vysokou (ať už způsobenou teplotou okolí, nebo zahříváním akumulátoru při vybíjení). Při nízkých teplotách dochází k přebíjení a při teplotách vyšších se akumulátor nenabije na plnou kapacitu, nebo se nezačne nabíjet vůbec [10].



Obrázek 4.10 Metoda teplotního ukončení T_{co} [10]

Metoda $\Delta T/\Delta t$

Metoda „ $\Delta T/\Delta t$ “ je sledování změny teploty v čase (dT/dt). K ukončení nabíjení dochází v momentě, kdy dojde ke změně teploty $0,5 - 1^\circ\text{C}$ za minutu. Nabíjecí proud je doporučen o velikosti alespoň $0,3 I_t$. Metoda se stává nevhodnou při výpadku elektrické energie, nebo při nabíjení nabitého a ještě teplého akumulátoru. Pokud takovýto akumulátor začneme znovu nabíjet, nabíječ čeká na další nárůst teploty [10].



Obrázek 4.11 Metoda teplotního ukončení $\Delta T/\Delta t$ [10]

5 OBDOBNÉ SYSTÉMY

Obdobnými systémy jsou zde myšleny systémy, které plní funkci měření, sběru dat a přenos vybraných veličin v rámci monitorování vodních toků. V našich podmínkách jsou nejčastěji využívány zařízení pracující na principu dataloggeru s GSM/GPRS přenosem. Mezi nejznámější zařízení patří:

- Registrační a řídicí jednotka M4016 (FIEDLER-MÁGR)
- GSM Datalogger DA4 (Conel)
- Hydro Logger H1 (FIEDLER-MÁGR)
- Datalogger DN4000 (Libor Daneš)

Každému zařízení jsem věnoval jeden odstavec se základním popisem funkcí a vlastností a na konci této kapitoly jsou poté zmíněny srovnávací parametry a také přehledná tabulka.

5.1 Registrační jednotka M4016

Záměrně jsem si vybral tuto registrační jednotku jako první v pořadí, kterou bych chtěl představit. Jedná se o velmi důmyslný, spolehlivý a univerzální datalogger s telemetrickou stanicí obsahující GSM/GPRS modul, programovací řídicí automat, PI regulátor a varovný systém založený na odesílání SMS zpráv. Jednotka obsahuje 16 záznamových kanálů pro měření a archivaci hladin, tlaků a dalších procesních veličin. Ke každému analogovému kanálu lze nastavit specifický název, počet desetinných míst pro měření a archivaci, limitní hodnoty pro alarmy a měřicí metodu. Měření je prováděno pomocí přesného 24 bitového převodníku, kde je pro archivaci vyhrazeno 16 nejvýznamnějších bitů. Interval archivace je poté nastavitelný od 1 minuty do 24 hodin samostatně pro každý kanál.



Obrázek 5.1 Řídicí jednotka M4016 [25]

Pro binární signály je zde připravena kapacita až 40 kanálů. Většina analogových, číslicových a pulzních vstupů umožňuje připojit různé typy snímačů a to i inteligentních sond s rozhraním RS-485. Pro měření průtoku v otevřených korytech má M4016 přednastavené konzumní rovnice mnoha měrných profilů. V datové paměti jsou poté uloženy nejen aktuální naměřené hodnoty, ale i denní a měsíční proteklé objemy, minima, maxima, které jsou dostupné prostřednictvím klávesnice na těle přístroje, SMS, nebo internetu. V síti internet se data ukládají do databáze na uživatelském datovém serveru, nebo na serveru výrobce zařízení. Vizualizace dat, která jsou uložena v databázi je možná prostřednictvím webového prohlížeče, nebo programu MOSTVIEW. Pro dálkovou parametrizaci stanice poté slouží program nesoucí název MOST. Jednotka využívá řízený režim napájení připojených snímačů a 3 V technologii napájení procesoru, což umožňuje dostatečnou délku provozu pouze na akumulátor.

5.2 GSM Datalogger DA4

Datalogger DA4 je nízkospotřebové zařízení pro sběr a přenos dat především ve vodárenském průmyslu. Své využití ale našel i při monitorování vodních toků. Datalogger obsahuje úsporný RISC procesor a další obvody, které jsou rovněž navrženy s velice nízkou spotřebou v režimu spánku. K zařízení je možné připojit 2 čítačové vstupy, 2 binární vstupy, 2 analogové vstupy a binární výstup. Mimo tyto vstupy/výstupy, které jsou obsaženy na XC-XNT destičce má datalogger k dispozici i RS-232 port pro připojení k PC a také CIO port, ke kterému je možné připojit dalších 5 vstupně/výstupních modulů. Odesílání naměřených parametrů je možné na jakýkoliv server v síti internet, nebo přímo do dispečerské aplikace pomocí protokolů RDS92, Modbus RTU a další. Samozřejmostí je i odesílání varovných SMS při překročení nastavených limitů. Datalogger DA4 má také mnoho parametrů, které lze měnit přehráním firmwaru, nebo dálkově pomocí nastavujících SMS. Napájení je možné z akumulátoru o napětí od 10 do 30 V.



Obrázek 5.2 Datalogger DA4 [26]

5.3 Hydro Logger H1

Tento produkt společnosti FIDLER-MÁGR v sobě kloubí datalogger a malou telemetrickou stanici, která je vhodná rovněž pro použití při sběru a přenosu dat. Stejně jako registrační jednotka M4016 má i tento Hydro Logger v sobě zabudovaný procesor s velmi nízkou spotřebou a proto se hodí i na bateriový provoz. Přenos dat je možné realizovat jak na server v síti internet, tak i prostřednictvím varovných SMS. Výrobce však doporučuje četnost odesílání dat v jednodenních intervalech. A to především proto, aby se co nejvíce šetřila interní lithiová baterie s kapacitou 13 Ah. Jednotka Hydro Loggeru H1 obsahuje textový displej, kde je možné sledovat okamžité hodnoty měřené veličiny. Dále je na grafickém displeji možné sledovat úroveň signálu GSM, což je výhodné při instalaci v terénu. Zařízení umožňuje připojení až 4 čítačových čidel, 2 analogových čidel s nastavitelným výstupem (0 - 20 mA, 4 - 20 mA, 0 - 1 mA), externího teploměru DIGITHERM, zařízení komunikující po RS-485 (např. ultrazvukový snímač) a také notebook přes rozhraní RS-232. Rozlišení AD převodníku je stejné jako u registrační jednotky M4016 a to 16 bitů s 0 až 3 desetinnými místy.



Obrázek 5.3 Hydro Logger H1 [27]

5.4 Datalogger DN4000

Velice zajímavým přístrojem, na který jsem při zpracovávání této rešerše narazil je datalogger DN4000 od výrobce jímž je pan Libor Daneš. Jednak díky svým malým rozměrům, provozním teplotám, spotřebě, ale hlavně díky již zabudované solární nabíječce. Datalogger DN4000 obsahuje 8 analogových vstupů, z nichž 4 jsou diferenční vstupy pro velmi přesné měření napětí a proudů. Dále má zařízení v rámci analogových vstupů i 4 proudové zdroje pro měření teploty, 8 digitálních vstupů, 6 digitálních výstupů, 1 analogový výstup, USB port pro komunikaci s PC, RS-232, RS-485 pro připojení inteligentních sond a sběrnici I2C. Na sběrnici I2C je možné připojit

další expanzní moduly, externí displeje a další zařízení. Napájení dataloggeru je vyřešeno univerzálním způsobem, což znamená, že k napájení je možné použít buď 3,7 V Li-pol články, 6 V nebo 12 V akumulátor. Zařízení je rovněž připraveno pro možnost připojení solárního panelu. Naměřená data se ukládají na FLASH paměť v podobě SD karty, z které se poté prostřednictvím GSM posílají na internet. Intervaly záznamu a odesílání jsou uživatelsky nastavitelné.



Obrázek 5.4 Datalogger DN4000 [28]

5.5 Porovnání systémů

Pro aplikaci monitorování vodních toků se při instalaci převážně uvažuje s připojením dvou analogových čidel (venkovní teploměr, sonda pro měření hladiny) s případným rozšířením o další analog (měření vlhkosti), čítačový vstup (srážkoměr), případně o inteligentní anemometr s rozhraním RS-485. Všechny výše uvedené typy dataloggerů mají dostatečný počet vstupů / výstupů a to jak analogových, tak i čítačových. Rovněž mají i možnost připojení PC přes rozhraní RS-232 pro případnou parametrizaci, nebo výčet nastavení na jednotlivých vstupech (DN4000 disponuje dokonce i možností připojení PC přes USB port). Výrobce FIEDLER-MÁGR má pro uživatele pro parametrizace připravený program MOST, který je velice intuitivní a lehce ovladatelný. Konfiguraci přístroje z dílny firmy Conel je rovněž možná a to přes volně šiřitelný program RADWIN. Nejinak tomu je i v případě dataloggeru DN4000, kde je umožněna parametrizace prostřednictvím sítě internet. Pokud ale budeme chtít připojit měřící zařízení, které komunikuje s dataloggerem prostřednictvím RS-485 narazíme na zásadní problém, který vidím především u přístrojů M4016 a H1 a to ten, že na rozhraní RS-485 lze komunikovat pouze protokolem FINET, což značnou mírou zužuje možnost použití čidel od jiných výrobců. K dataloggeru DA4 je možné čidlo s rozhraním RS-485 připojit pouze do portu RS-232 a to přes převodník, čímž se pochopitelně zvyšuje spotřeba zařízení a to je nežádoucí. Zbývá datalogger DN4000, který umožňuje připojení čidel přes RS-485 prostřednictvím protokolu HART.

Dalším kladeným požadavkem na zařízení u některých aplikací je jeho spotřeba a možnost dobíjení prostřednictvím solárního panelu. Na první pohled je nejlepší uváděná spotřeba u Hydro Loggeru H1 a to 50 μA v klidovém režimu, nicméně možnost použití jiné, než dodávané baterie není možné. Navíc výrobce uvádí pouze 3000 datových relací při použití jedné baterie a to za předpokladu dobrého signálu, v případě horšího signálu se datové relace odesílají až na několikátý pokus a to samozřejmě snižuje výdrž baterie. Jak je rovněž známo, tak lithiová baterie, která je v zařízení instalována, má po dobu svého fungování takřka konstantní napětí a její napětí poté rapidně klesne těsně před úplným vybitím. Zbylé tři přístroje je možné používat s různými typy gelových akumulátorů s odlišnou proudovou kapacitou. Velice zajímavým prvkem u dataloggeru DN4000 je možnost připojení solárního panelu přímo na svorky zařízení. Zařízení má totiž implementovaný solární obvod, který se stará o nabíjení a odpojování solárního panelu při nabití akumulátoru. V praxi to znamená, že nám odpadá jinak nutná instalace solárního regulátoru.

Většina státních podniků, které provozují měřicí stanice na jednotlivých povodích, nedisponuje dispečerským vybavením jako je např. SCADA server. Velice často využívají zařízení s možností datahostingu a to nejlépe přímo od výrobce. Jednotliví výrobci toto samozřejmě umožňují, avšak možnosti použití a nastavení jsou odlišné stejně jako cenová politika. Kladně hodnotím možnost zdarma vyzkoušet datahosting společnosti Conel. FIEDLER-MÁGR a Conel má v manuálech vyčerpávajícím způsobem popsany celý datahosting, jeho silné stránky a také možnosti parametrizace a nastavení což je pro koncového zákazníka určitě zajímavé.

Velkým kladem při monitorování vodních toků je možnost nastavení konzumční rovnice přímo na přístroji a to konkrétně na registrační jednotce M4016. Registrační jednotka M4016 má předdefinované koeficienty konzumční rovnice pro 14 nejčastěji se vyskytujících měrných míst. Jen připomenu, že konzumční rovnice je důležitá při stanovení průtoku vodního toku na základě znalosti výšky hladiny.

Z hlediska správné a bezproblémové funkce zařízení je nezbytně nutné, aby bylo možné jednou za čas provést kontrolu správnosti měření. Např. kontrola správnosti měření hladiny řeky se provádí tak, že se odečte údaj z displeje dataloggeru a ten se pak porovnává s hodnotou, která je vizuálně odečtena na vodočtu. Pokud se hodnoty výrazně rozcházejí, musí se provést kalibrace dataloggeru, případně výměna měřicího čidla. Z tohoto důvodu je dobré použít datalogger, který má na svém těle grafický displej. Ten mají všechny přístroje vyjma dataloggeru DA4.

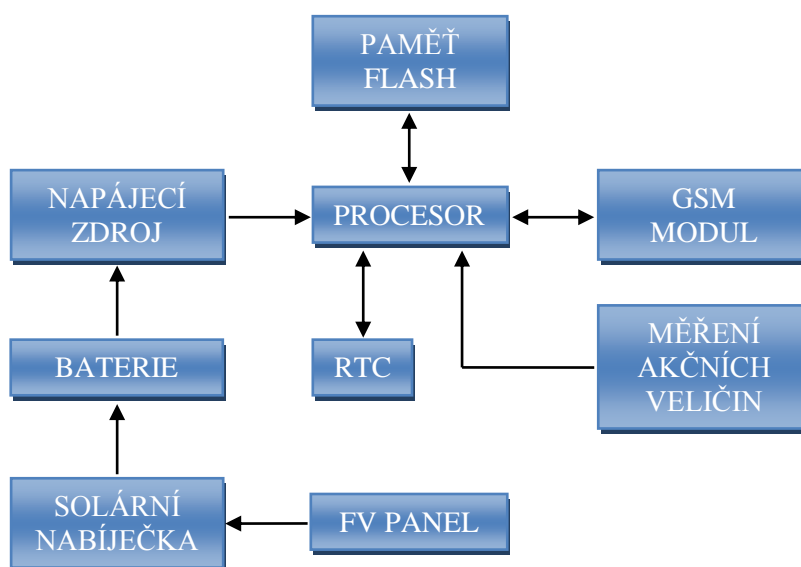
Výčtem všech uvedených kritérií, kladů a záporů mi jako nejvhodnější přístroj pro aplikaci sledování stavů na vodních tocích připadá registrační jednotka M4016 (FIEDLER-MÁGR) a také datalogger DN4000 (Libor Daneš). Registrační jednotku M4016 bych doporučoval použít tam, kde není vyžadováno dobíjení akumulátoru prostřednictvím solárního panelu a tam, kde nebudou problémy s místem pro instalaci. Pokud by se ale uvažovalo nad solárním dobíjením, nebo pokud by byla instalace omezena místem, využil bych datalogger DN4000, který disponuje solárním regulátorem a menšími rozměry.

Tabulka 5.1 Porovnání parametrů obdobných systémů

	Registrační jednotka M4016	Datalogger DA4	Hydro Logger H1	Datalogger DN4000
Výrobce	FIEDLER-MÁGR	Conel s.r.o.	FIEDLER-MÁGR	Libor Daneš
Rozměry v mm	320x215x170	102x90x30	160x90x60	160x80x60
Hmotnost	2,6 kg	200 g	1,1 kg	Neuvedeno
Napájení z připojené baterie	12 V gelový akumulátor	12 V gelový akumulátor, lithiová baterie 8x3,6 V/16,5 Ah	3,6 V lithiová baterie 13 Ah	3,7 Lithiová baterie, 6 V nebo 12 V olověné akumulátory
Provozní teplota	-30 až +65 °C	-20 až 55 °C	-20 až +50 °C	-40 až 60°C
Procesor	8 bitový ATMEL AVR	32 bitový Coldfire Freescale	8 bitový ATMEL AVR	Neuvedeno
Spotřeba v klidovém režimu	60 µA	83 µA	50 µA	90 µA
Počet vstupů / výstupů	6x AI (16 bitů), 8x BI (32x BI s DV2 deskou)	2x AI (10 bitů), 2x CNT, 2x BI, 1x BO, + CIO (5x IO)	2x AI (16 bitů), 2x CNT, 2x BI	8x AI, 8x BI (CNT), 6x BO, 1x AO
Komunikační rozhraní	RS-232, RS-485	RS-232	RS-232, RS-485	RS-232, RS-485, USB
Velikost paměti	2MB FLASH	512 kB FLASH	2MB FLASH	Až 32 GB (SD karta)
GSM modul	Enabler-G (Enfora)	MC39i (Siemens)	Hi-Lo (Sagem)	Neuvedeno
Orientační cena Kč (bez DPH)	25.400,-	19.950,-	18.880,-	25.000,-

6 HARDWAROVÝ NÁVRH A POPIS ZAŘÍZENÍ

Obrázek 6.1 popisuje obecné blokové schéma navrhovaného systému monitorování vodních toků. Hlavními prvky zařízení jsou především: solární nabíječka, která se stará o proces nabíjení připojeného akumulátoru a řídí nabíjecí proud dodávaný z fotovoltaiického panelu, mikrokontrolér, jehož úlohou je snímání a ukládání naměřených dat do FLASH paměti a komunikace s připojeným GSM modulem pomocí sériové linky. Na každou část zařízení s ohledem na zadanou aplikaci a funkci jsou kladeny různé požadavky, kterými se v dalších podkapitolách zabývám.



Obrázek 6.1 Blokové schéma navrhovaného zařízení

Návrh hardwarového vybavení je koncipován do několika po sobě jdoucích částí, které na sebe svou podstatou navazují. Nejprve je potřeba si uvědomit, že celé zařízení bude pracovat bez síťového napájení a proto je při návrhu kladen důraz na co nejmenší spotřebu komponentů. U každé části systému jsou uvedeny požadavky na funkci a výběr vhodných komponentů. Výběr komponentů, především potom typ fotovoltaiického panelu, akumulátoru, metody ukončování nabíjení a také metody měření akčních veličin vychází ve velké míře z řešení, kterým jsem věnoval úvod této práce. Proto se v některých případech budu odkazovat na příslušné související kapitoly.

6.1 Senzorová část

Vlastní měření akčních veličin probíhá na limnigrafické stanici ve vlastnictví povodí Labe. Jelikož u této stanice není k dispozici žádný měrný přeliv, či žlab, není možné uvažovat s měřením výšky hladiny pomocí ultrazvukového snímače. Rovněž není možná instalace radarového snímače, poněvadž se v těsné blízkosti říčního koryta nenachází vhodná konstrukce k jeho uchycení. Jako řešení se nabízí měření pomocí plováku, který by se nainstaloval do stávající, do země vyvrtané díry, která je spodní částí spojená s korytem řeky. Problém je zde ale takový, že výstupem z plováku není analogový signál, ale komunikační protokol, což se pro mou aplikaci nehodí - řeč je samozřejmě o plovákovém snímači PSH-30 FIEDLER-MÁGR (viz kapitola 2.2.1). Druhá varianta, která se rovněž vybízí, je měření prostřednictvím ponorné tlakové sondy, která se instaluje stejným způsobem jako plovák. Tato varianta je už schůdnější, jelikož výstupem je analogový signál 4 až 20 mA.

Pro měření výšky hladiny je proto použita hydrostatická tlaková sonda Waterpilot FMX 167 od výrobce Endress + Hauser s rozlišením 0 - 6 metrů vodního sloupce. Podrobnější popis tlakové sondy je obsažen v následující podkapitole.

Druhým prvkem, tvořící senzorovou část je teploměr pro měření venkovní teploty. Toto měření je realizováno průmyslovým prostorovým teploměrem se zabudovaným převodníkem 4 až 20 mA. Teploměr je usazen v plastové trubce o průměru DN40 z důvodu instalace na stožáru, kde by mohlo vlivem přímého slunečního záření docházet ke zkreslení měření. Plastová trubka slouží jako radiační kryt teploměru.



Obrázek 6.2 Hydrostatický snímač tlaku FMX 167 [31] a odporový teploměr T1010 [29]

6.1.1 Snímač tlaku FMX 167

Jedná se o hydrostatickou tlakovou sondu společnosti Endress + Hauser, kterou lze využívat pro měření hladiny jak pitné a tak i odpadní vody. Díky svým malým rozměrům (vnější průměr jen 22 mm) je možné sondu instalovat i do ochranných rour menších průřezů. Tělo sondy je vyrobeno z nerezů a je schopné odolávat i agresivním médiím. Měřicí buňka je potom vyhotovena z keramiky. Princip měření je popsán v kapitole 2.2.4.

Tabulka 6.1 Základní vlastnosti snímače FMX 167

Rozsah měřidla	0 - 6 mH ₂ O
Napájecí napětí	0 - 30 V DC
Výstupní signál	4 - 20 mA, 2 - vodič
Provozní teplota	-10 až +70 °C
Spotřeba	≤ 0,675 W při 30 V DC ≤ 22,5 mA
Přesnost	± 0,2 % z konce měření (FS)
Doba ustálení	150 ms

6.1.2 Prostorový teploměr T1010

Prostorový odporový snímač teploty T1010 od výrobce JSP je určen především pro dálkové měření teploty prostředí (okolního vzduchu). Čidlem snímače je jeden odpor, uložený ve stonku snímače, který je vnitřním vedením napojen na keramickou svorkovnici umístěnou v hlavici snímače. Pro měření je využito definované změny odporu Pt čidla v závislosti na změně teploty. Teploměr má ve své hlavici nainstalovaný převodník, který převádí odporový signál na unifikovaný linearizovaný proudový signál 4 až 20 mA. Teploměr má rozsah 0 až 50 °C.

6.2 Řídicí procesor

6.2.1 Požadavky na řídicí procesor

Požadavky na řídicí procesor jsou následující:

- Dostupné sériové rozhraní pro komunikaci s GSM modulem.
- Malý nebo střední výkon s dostatečnou pamětí a možností připojení FLASH.
- Dostatečný počet vstupů/výstupů se zachováním nízké spotřeby.

Z uvedených požadavků jsem vybral čtyři modely, které přicházely jako vhodné, byly jimi mikrokontroléry: MSP340 od Texas Instruments, CortexTM-M0 s architekturou ARM a dva zástupci z rodiny AVR ATmega168 a ATmega328 od Atmelu. Po rozboru náročnosti aplikace, která neskýtá velké požadavky na paměť a vzhledem k velké komunitě a dostupných materiálů, která přísluší právě Atmelu, jsem se rozhodl **pro AVR ATmega 168**, která ve všech ohledech vyhovuje.

6.2.2 Mikrokontrolér ATmega168

Tabulka 6.2 Základní vlastností ATmega168

FLASH paměť	16 Kbyte
CPU	AVR 8-bit
Kapacita paměti EEPROM	512 B
Kapacita paměti SRAM	1024 B
Kmitočtové taktování	20 MHz
Periferie	RTC, komparátor
Rozsah pracovního napětí	2,7 V až 5,5 V
Spotřeba při aktivním módu	250 µA při 1 MHz, 1,8V 15 µA při 32 kHz, 1,8V
Spotřeba při power down	0,1 µA, 1,8 V
Počet vstupů/výstupů	23
Sériové rozhraní	1x USART
Počet kanálů PWM	6
Počet 8-bitových čítačů	2
Počet 16-bitových čítačů	1
Počet 10-bitových A/D převodníků	6
Rozsah provozních teplot	-40 až 85°C

ATmega168 vychází z rodiny mikrokontrolérů AVR s RISC Harvardské architektury, která je znázorněna v datasheetu [16] výrobce. Blokové schéma zachycuje provádění programu, přístup k jednotlivým pamětím, perifériím a obsluhu přerušení. Pro zrychlení provádění instrukcí má jednoúrovňovou pipeline, kdy během provádění jedné instrukce se následující instrukce načítá z programové paměti.

ALU (aritmeticko-logická jednotka) má přímý přístup k 32 8bitovým GPR (registrům pro všeobecné použití) uspořádaných do osmi banků. Během jednoho cyklu GPR načte až dva operandy z GPR, provede výpočet a výsledek uloží zpět do GPR. Posledních šest 8bitových GPR registrů může být ve dvojici použito jako ukazatelé pro nepřímé adresování paměti dat. ALU podporuje standardní aritmetické, logické a bitové operace. Některé AVR procesory, jako např. ATmega, mají navíc i hardwarovou násobilku pro celočíselnou a desetinnou aritmetiku (výpočet trvá dva cykly). Po provedení operace ALU nastaví příslušné flagy ve stavovém registru.

Běh programu (Register Program Counter) lze řídit podmíněnými a nepodmíněnými skoky, voláním a návratem z podprogramu a voláním obsluh interních či externích přerušení.

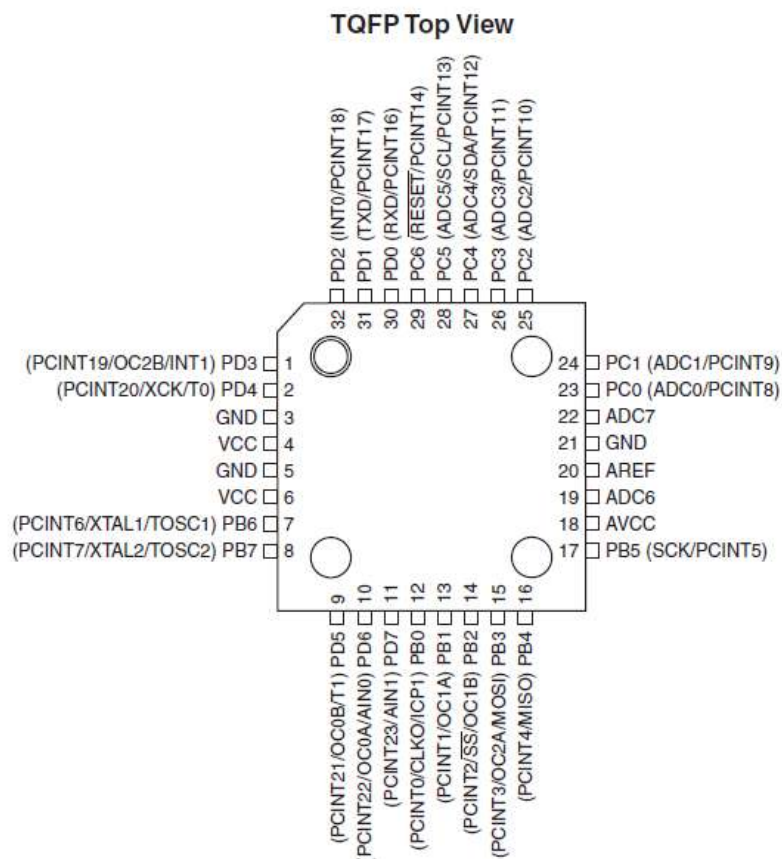
Programová i datová paměť má lineární adresování. Programová paměť FLASH se dělí na oblast aplikační a oblast zaváděče (BootCode). V zaváděcí oblasti může být uložen program zaváděče, který přes určité rozhraní přijme aplikační program a pomocí instrukce SPM (nelze ji volat programem z aplikační oblasti) jej zapíše do aplikační paměti a pak mu předá řízení. Tento mechanismus lze využít pro programování i přes jiná rozhraní než k tomu určené SPI, JTAG.

Zásobník sdílí interní paměť SRAM a roste směrem dolů. Před voláním programů nebo obsluh přerušení je nutné nastavit ukazatel zásobníku (SP) tak, aby byl k dispozici dostatek volné paměti pro návratové adresy. Každé přerušení lze individuálně nebo globálně povolit/zakázat. Priorita přerušení je dána adresou vektorů přerušení (čím nižší adresa vektoru, tím vyšší priorita) [15].

V této práci jsou uvedeny jen nejdůležitější informace o mikrokontroléru ATmega168. Další informace lze získat z [15], nebo [16] případně přímo z webu výrobce.

6.2.2.1 Provedení pouzder

Pro mikrokontrolér ATmega168 se vyrábějí čtyři provedení pouzder. Pro mou aplikaci jsem zvolil kompaktní pouzdro TQFP32, jehož katalogový obrázek včetně popisu pinů je uveden níže (viz obrázek 6.3).



Obrázek 6.3 ATmega168 - pouzdro TQFP [16]

6.2.2.2 Vstupní/výstupní porty

Mikrokontrolér ATmega168 má 23 programovatelných univerzálních obousměrných portů. Většina z nich má jeden nebo dva alternativní významy, které se obvykle aktivují zapnutím dané periferie pomocí jejího řídicího registru. Každý bit lze nastavovat individuálně. Výstupy portů jsou řešeny jako komplementární pár CMOS se schopností dodávat/odebírat až 40 mA, celkově však nesmí proud všech I/O portů překročit 200 mA. U každého vstupu zvlášť lze zapnout pull-up rezistor o hodnotě 20 kΩ - 50 kΩ. Vstupy mají ochranné diody zapojené proti Vcc a Gnd. Všechny porty mají tři řídicí registry:

- **DDRx** – (Data Direction Register) sloužící pro konfiguraci portu jako vstup (hodnota 0) nebo výstup (hodnota 1).
- **PORTx** – slouží pro nastavení hodnoty na pinu I/O portu, je-li port nakonfigurován registrem DDRx jako vstup, řídí nastavení pull-up rezistoru (hodnota 1 – pull-up je aktivní). Všechny pull-upy lze globálně vypnout přes registr SFIOR, bit PUD. Po resetu jsou všechny porty nastaveny jako porty s

vypnutým pull-upem. Čtení registru PORTx udává předchozí zapsanou hodnotu, nikoliv skutečný stav na pinu.

- **PINx** – slouží pro čtení skutečného stavu pinu (nezávisle na stavu DDRx), synchronizuje se s hodinovým signálem. Z výše popsaného dále vyplývá, že pokud je potřeba přepnout port z režimu vstup do režimu výstup s danou hodnotou bez nechtěné mezistavové hodnoty, je třeba nejprve zapsat registr PORTx, a pak teprve DDRx.

6.2.2.3 Sériové rozhraní USART

Mikrokontrolér má jeden programovatelný USART. Sériová komunikace pomocí USARTu je plně duplexní, to znamená, že má oddělené přijímací a vysílací registry, dále je zde implementován generátor přenosové rychlosti, podpora sériových rámců: 1 start bit, 5 - 9 datových bitů, 1 nebo 2 stop bity. Hardwarový generátor umožňuje generovat sudou i lichou paritu, včetně jejich kontroly.

USART se skládá ze tří základních částí: generátoru přenosové rychlosti, vysílače a přijímače.

6.3 FLASH paměť

FLASH paměť je tvořena kartou typu SD (Secure Digital) s kapacitou 1 GB, která je připojena k SPI rozhraní. SD karta je s MCU propojeno pomocí 4 vodičů, načež 3 slouží jako datové a zbývající jako hodinový signál. Popis jednotlivých pinů je uveden na obrázku 6.4.



Obrázek 6.4 Popis pinů karty SD při SPI módu

6.4 RTC modul

Nejprve jsem razil myšlenku, že využiji interní RTC přímo v mikrokontroléru a tak jsem se zabýval co vše by to obnášelo. Pravdou je, že RTC obvod přímo v MCU sice výhodný je z hlediska úspory součástek, ale druhou stranou mince je to, že se časová základna začne již po krátkém čase rozcházet. Navíc při odpojení napájení se RTC po chvíli vymaže. Proto jsem se raději soustředil na externí moduly RTC.

Při výběru modulu RTC, nebo-li modulu reálného času, jsem se soustředil především na obvody, které budou mít vhodnou hodnotu napájení a budou se dát sehnat v kitu společně s krystalem a zálohovací baterií. Obvodů, které lze použít existuje hned několik. Nebudu je zde všechny jmenovat, avšak zmíním právě dva, mezi kterými jsem se rozhodoval. Byly to obvody DS1307 a DS1302 (viz obrázek 6.5).

Obvod DS1307 mě zaujal zejména díky nízké spotřebě a možnosti komunikace s MCU pomocí I2C sběrnice. V zápětí ale mé očekávání zhatila hodnota v datasheetu, která uváděla minimální napájecí napětí 4,5 V, což je málo, jelikož jsem již od začátku počítal s maximálním napájením vnitřních obvodů 4 V. V důsledku by to znamenalo fakt, že by celou dobu obvod pracoval pouze ze záložní baterie, což je samozřejmě možné, ale výhledově nevhodné.

Vraťme se ale k obvodu DS1302, který umí pracovat již od 2V, což splňuje požadavek napájecího zdroje. Proto jsem neváhal a použil tento obvod jako řešení RTC modulu.

Obvod DS1302 obsahuje hodiny reálného času počítající sekundy, minuty, hodiny, den v měsíci, den v týdnu, rok včetně přestupných roků a to až do roku 2100. Obvod obsahuje dostatečnou paměť tvořenou 31 B RAM, která je zálohovaná lithiovou 3 V baterií. Je navržen pro velmi malou spotřebu a udržení dat při příkonu menším než 1 μ W. DS1302 využívá externí krystal 32,7682 kHz a nepotřebují ke své funkci žádné další rezistory nebo kondenzátory.



Obrázek 6.5 Modul reálného času s obvodem DS1302

6.5 GSM modul

6.5.1 Požadavky na GSM modul

Základním požadavkem na hardwarové zařízení je především nízká spotřeba v klidovém režimu, možnost přechodu do stavu spánku a podpora komunikace GSM/GPRS. Dalším kritériem při výběru jsou kromě nabízených funkcí také rozměry, konektivita, dostupnost a cena.

Jako nejvhodnější varianty vyplývající z výše uvedených atribut se jeví moduly MC55i a MC39i od výrobce Cinterion. Oba moduly mají stejnou spotřebu v režimu Power down a to 50 μ A, liší se pouze rozměry a spotřebou při vysílání. Vzhledem k faktu, že jsem se v praxi již s modulem MC39i setkal a mám s ním dobré zkušenosti, dávám mu v této práci přednost před typem MC55i.

6.5.2 GSM modul Cinterion MC39i

Komunikační GSM modul MC39i od firmy Cinterion (viz obrázek 6.6), jehož vlastnosti jsou uvedeny v tabulce 6.3, je kompletní Dual-Band GSM modul, který je navržen pro použití v síti GSM 900/1800 MHz.

Integrace modulu do uživatelské aplikace se provádí prostřednictvím 40ti pinového konektoru, na který je přivedeno napájecí napětí, řídicí signály a další vstupy/výstupy.



Obrázek 6.6 Modul Cinterion MC39i

6.5.2.1 Základní vlastnosti

Tabulka 6.3 Přehled vlastností GSM modulu MC39i ¹

Napájení		3,3 - 4,8 V
Spotřeba	Power down	50 μ A
	Sleep mode	3 mA
	Speech mode	300 mA
	GPRS vysílání (průměr)	590 mA
GSM		900/1800 MHz
GPRS		Multi-slot class 10
Data	GPRS	GPRS mobile station class B, PBCCH support, max. 86 kbps (DL), coding class CS 1-4
	CSD	Přenosová rychlost do 14,4 kbps, netransparentní mód, V.110, podpora USSD
SMS		Text a PDU mód, point-to-point MO a MT, SMS cell broadcast
Audio		2 analogová
Anténní rozhraní		Konektor pro připojení antény
Sériové rozhraní		Autobauding, HW, SW řízení toku dat (handshake)
Ovládání		Pomocí AT příkazů

6.5.2.2 Zdroj napájení

Modul vyžaduje zdroj napětí připojený na pět pinů BATT+ v maximálním rozsahu hodnot 3,3 V – 4,8 V (typicky 4,2 V). Zdroj musí být schopen dodat špičkový proud při „Transmit Burst“, který obvykle dosahuje až 2 A. O řízení napájení uvnitř modulu se stará napěťový zdroj ASIC. Jeho funkce v obvodu jsou následující:

- Pomocí LDO regulátoru stabilizuje napětí pro GSM procesor.
- Řídí procedury zapnutí a vypnutí modulu. Watchdog implementovaný v GSM procesoru periodicky posílá signály do ASIC. Jakmile je tento periodický chod signálu přerušen, modul je vypnut.
- Na pinu VDD udržuje napětí 2,9 V, které lze použít například jako napájení pro stavové LED diody, napěťové převodníky apod. V módu „Power-Down“ je toto napětí nulové. Lze tedy pomocí tohoto pinu kontrolovat, zda je modul zapnut.
- Poskytuje napájení pro SIM rozhraní [12].

¹ http://www.sendsms.cn/download/mc39i_hd_v0102.pdf

6.5.2.3 Komunikační rozhraní

Modul disponuje asynchronním sériovým rozhraním, které je až na napěťové úrovni kompatibilní s rozhraním RS-232. Napěťové úrovně jsou 0 V v log. 0 a 2,65 V v log. 1. Datový rámec je konfigurován na osm datových bitů, bez parity, jeden stop bit. Komunikace je možná při rychlostech 1200, 2400, 4800, 9600, 38400, 115200, 230400 bit/s. Rozhraní umožňuje HW i SW (XON/XOFF) kontrolu toku dat. Modul se chová jako zařízení DCE. Rozhraní má následující vlastnosti:

- Má osm signálů.
- Obsahuje dva datové signály TXD0, RXD0, stavové signály RTS0, CTS0 a řídicí signály modemu DTR0, DSR0, DCD0, RING0.
- Je určeno pro hlasová volání, CSD, fax, GPRS a ovládání modulu pomocí AT příkazů.
- Umožňuje pracovat v multiplexním režimu, při kterém je rozhraní rozděleno na tři virtuální kanály.
- Dotazování na signál DTR se děje jednou za sekundu.
- Podporuje automatickou detekci komunikační rychlosti (autobauding) [12].

Tabulka 6.4 Propojení signálů zařízení DCE-DTE

Zařízení DCE (modul MC39i)		Zařízení DTE (aplikace)	
Pin	Směr signálu	Pin	Směr signálu
TXD0	vstup	TXD	výstup
RXD0	výstup	RXD	vstup
RTS0	vstup	RTS	výstup
CTS0	výstup	CTS	vstup
DTR0	vstup	DTR	výstup
DSR0	výstup	DSR	vstup
DSD0	výstup	DCD	vstup
RING0	výstup	RING	vstup

6.5.2.4 Rozhraní pro SIM

Rozhraní na modulu je standardního typu a obsahuje šest pinů, které jsou popsány v následující tabulce 6.5.

Tabulka 6.5 Signály rozhraní pro SIM

Signál	Směr signálu	Popis
CCGND	-	Zemní spoj pro zlepšení EMC
CCCLK	výstup	Hodinový signál pro SIM, tento signál nastavuje mikrokontrolér
CCVCC	výstup	Napájení SIM karty z interního zdroje ASIC
CCIO	vstup i výstup	Sériová linka pro přenos dat
CCRST	výstup	Resetování čipu SIM karty, které provádí mikrokontrolér
CCIN	výstup	Zjišťuje přítomnost SIM karty, pokud dojde při provozu k vyjmutí karty, přeruší se veškerá komunikace dřív, než dojde k poškození zařízení.

6.5.2.5 Řídící signály

Modul disponuje dvěma řídicími signály. IGT slouží k zapínání GSM modulu a EMERGOFF je signál sloužící k vypnutí modulu. Standardně se však k vypínání modulu nepoužívá. Slouží k nouzovému vypnutí modulu při vzniklých problémech, kdy software dlouho neodpovídá. Při tomto způsobu vypnutí nedochází k ukládání dat do trvalé paměti [12].

6.5.2.6 Další vstupy a výstupy

Další možný výstupní pin je SYNC. Výstup tohoto pinu se liší podle módu nastaveného AT příkazem $AT^SSYNC=M$, kde M je číslo módu. Standardní nastavení je pro $M = 0$, kdy je generován synchronizační signál sloužící k oznámení zvýšení spotřeby z napájecího zdroje během „Transmit Burst“. Protože odběr při „Transmit Burst“ dosahuje až 2 A, může být díky indikaci synchronizačním signálem omezen odběr ostatních obvodů a omezen tak celkový proud procházející napájecím obvodem. Druhý mód pro $M = 1$ má význam pro signalizaci pomocí LED. Tento pin je využíván pro signalizaci aktivity modulu a jeho stavy jsou popsány v tabulce 6.6 [12].

Tabulka 6.6 Stavy modulu pro pin SYNC

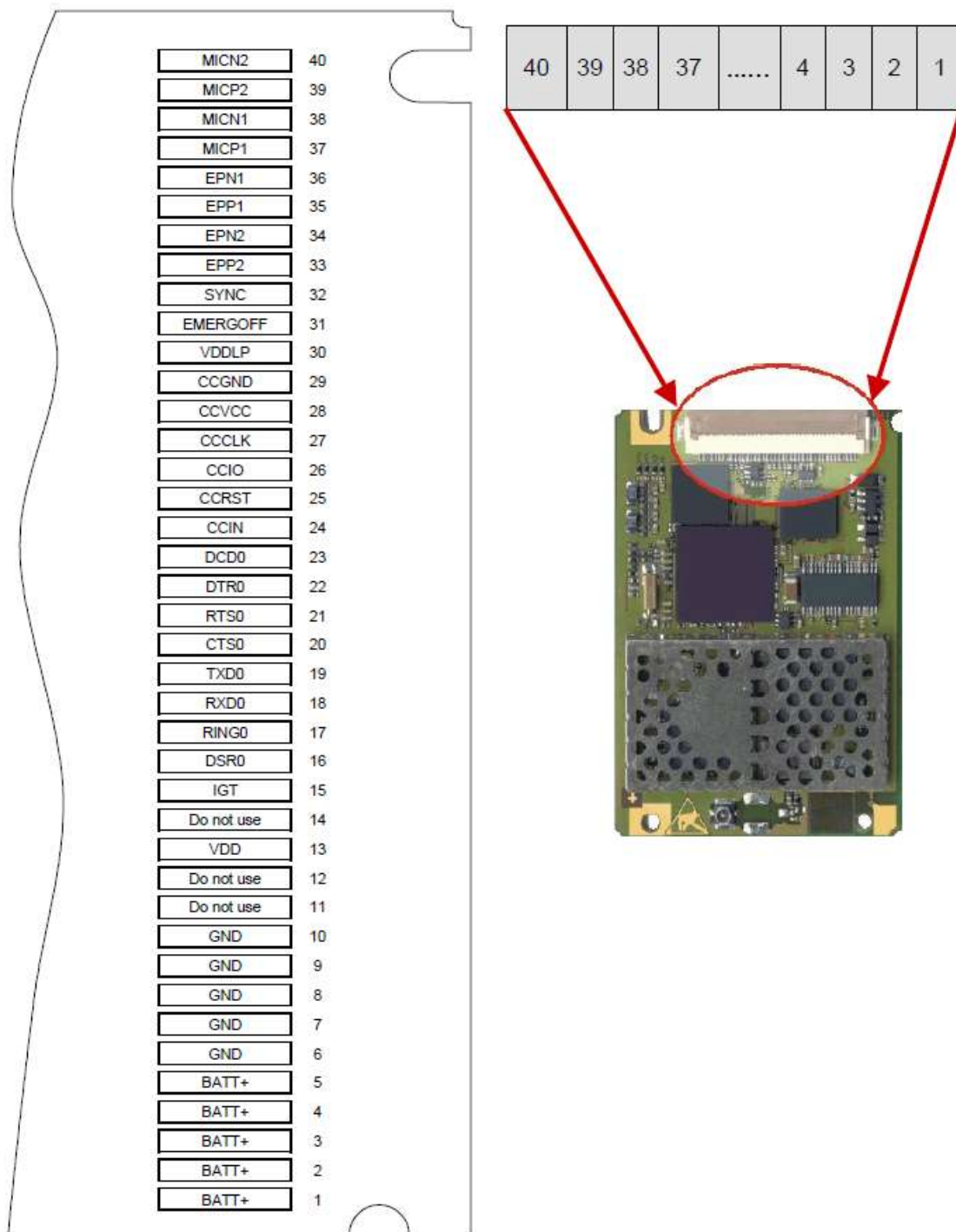
Mód pro LED	Stav GSM modulu
Stále nesvítí	Modul je vypnut, nebo se nachází v úsporném režimu
600 ms svítí / 600 ms nesvítí	Není vložena SIM, nebo jiný problém se SIM kartou
75 ms svítí / 3 ms nesvítí	Úspěšně přihlášen do sítě operátora
75 ms svítí / 75 ms nesvítí / 75 ms svítí / 3 s nesvítí	Aktivováno GPRS spojení
Záblesky	Indikuje GPRS přenos dat
Stále svítí	Hlasová nebo datová volání

6.5.2.7 Speciální provozní módy

Modul MC39i nabízí různé speciální režimy provozu, které se týkají především úspory napájení. Mód pro nabíjení baterie, několik variant úsporného módu (Sleep Mode), při kterém je odstavováno sériové rozhraní a který dále umožňuje po stanoveném čase přechod do stavu, kdy jsou napájeny pouze hodiny RTC (Alarm Mode).

6.5.2.8 Specifikace rozhraní

Interface na modulu MC39i je tvořen 40 pinovým ZIF konektorem. Jednotlivé piny jsou pro přehlednost na obrázku 6.7.



Obrázek 6.7 Rozhraní modulu MC39i - 40 pinový ZIF konektor [14]

Popisy jednotlivých pinů, které jsou užitečné pro mou aplikaci, jsou uvedeny v tabulce 6.7 včetně požadavků na elektrické připojení. V tabulce nejsou začleněny piny pro analogové audio rozhraní, které pro mou aplikaci nejsou zajímavé.

Tabulka 6.7 Popis jednotlivých pinů rozhraní modulu MC39i

Funkce	Označení pinu	Směr signálu	Popis
Napájení GSM modulu	+BATT	vstup	Napájecí piny, 5x +BATT a 5x GND, napětíový rozsah: 3,3 V až 4,8 V, $I_{nom} = 2$ A při Burst
	GND	vstup	
Externí napájení	VDD	výstup	Možnost připojení LED k indikaci zapnutého GSM modulu, napětí na pinu v zaplém stavu 2,9 V, při Sleep Modu, nebo ve vypnutém stavu 0 V
Zapnutí modulu	/IGT	vstup	Při přivedení signálu na tento pin se modul zapne, $V_{Openmax} = 2,3$ V, tento pin musí být řízen pomocí tranzistoru
Nouzové vypnutí	/EMERGOFF	vstup	Nouzové vypnutí modulu při zaseknutí SW, nebo při jiných komplikacích (modul obsahuje watchdog), tento pin musí být řízen pomocí tranzistoru a při odpojení modulu tímto způsobem jsou ztracena veškerá data
Synchronizace	SYNC	výstup	K tomuto pinu je možné připojit LED a z tabulky 5.5 lze poté identifikovat aktuální stav modulu
SIM rozhraní	CCIN	vstup	Přítomnost SIM karty v držáku
	CCRST	výstup	Resetování čipu SIM karty
	CCIO	vstup i výstup	Sériová linka pro přenos dat
	CCLK	výstup	Hodinový signál pro SIM kartu, nastavuje mikrokontrolér
	CCVCC	výstup	Napájení SIM karty z interního zdroje ASIC
	CCGND	-	Zemní spoj pro zlepšení EMC
RTC záloha	VDDL	vstup i výstup	Připojením kapacity proti zemi se zálohuje RTC při výpadku napájení z pinu +BATT ($V_{IN} 2 - 5,5$ V)
Sériový interface	/RXD0	výstup	Sériové rozhraní pro přenos AT-příkazů. $V_{IHmin} = 1,95$ V, $V_{IHmax} = 3,45$ V
	/TXD0	vstup	
	/CTS0	výstup	
	/RTS0	vstup	
	/DTR0	vstup	
	/DCD0	výstup	
	/DSR0	výstup	
	/RING0	výstup	

6.6 Volba napět'ových úrovní

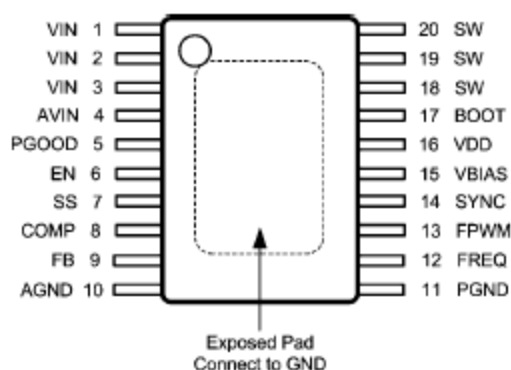
Volba napět'ových úrovní je volena tak, aby co nejméně zatěžovala akumulátor a aby byla dostatečná pro veškeré prvky v zapojení. GSM modul pro své správné fungování potřebuje napětí od 3,3 V do 4,8 V (ideálně 4,2 V) a jelikož se jedná o součástku s největším proudovým odběrem, věnoval jsem obvodu pro napájení zvýšenou pozornost. S ohledem na co nejmenší vlastní spotřebu napájecího obvodu jsem zvolil obvod, který je popsán níže (viz obrázek 6.8), jedná se o LM26003 a výstupní napětí je uvažováno 4 V. Další napět'ová úroveň potřebná pro napájení MCU je 3,3 V. Toto napětí transformuji pomocí integrovaného obvodu MIC5209 z již dostupných 4 V. Nesmím opomenout i potřebné napájení analogových čidel, které je řešeno přímo z akumulátoru, tedy 12 V.

6.6.1 Napájecí zdroj LM26003

Jako spínaný napájecí zdroj je použit obvod **LM26003** od Texas Instruments, kterým reguluji napětí v závislosti na proudu až do 3 A s velkou účinností a malým odběrem v režimu spánku. Jeho parametry jsou shrnuty v tabulce 6.8.

Tabulka 6.8 Základní parametry obvodu LM26003

Vstupní napětí	3 až 38 V
Tolerance výstupního napětí	1,5 %
Frekvence	150 - 500 kHz
Pouzdro	TSSOP-20



Obrázek 6.8 Provedení obvodu LM26003 včetně označení pinů [18]

6.6.1.1 Popis jednotlivých pinů

Tabulka 6.9 Popis pinů obvodu LM26003

Pořadí	Označení pinu	Popis
1-3	VIN	Napájecí napětí pro FET tranzistory uvnitř obvodu
4	AVIN	Napájecí napětí pro IC
5	PGOOD	Výstupní pin s otevřeným kolektorem (signalizace vysokého napětí, které je o 92% vyšší, než je vstupní)
6	EN	Analogový vstup, pokud napětí klesne na tomto pinu pod 0,8 V přejde obvod do Shutdown režimu. Pokud není třeba obvod vypínat, přivede se na tento pin napětí z pinu Vin
7	SS	Soft-start pin, po připojení odpovídající hodnoty kapacity dojde k odlehčenému startu (časová prodleva)
8	COMP	Kompenzační pin
9	FB	Pin zpětné vazby pomocí které se nastavuje výstupní napětí (odporový dělič, který je připojen k tomuto pinu)
10	AGND	Zem pro analog
11	PGND	Zem pro regulátor
12	FREQ	Pomocí odporu se nastavuje na tomto pinu frekvence
13	FPWM	Nastavování režimu spánku, pokud je pin spojen se zemí, pracuje obvod v normálním režimu, pokud je na tomto pinu vysoká impedance je Sleep Mode zakázán
14	SYNC	Synchronizační pin pro připojení externího oscilátoru
15	VBIAS	Bypass pro překlenutí interního regulátoru, napětí na tomto pinu musí být pro správnou funkci vyšší jak 3V, pokud Bypass není vyžadován, připojí se tento pin proti zemi
16	VDD	Výstupní pin interního regulátoru
17	BOOT	Pin pro připojení ochranného kondenzátoru
18-20	SW	Switch pin - výstupní napájení
EP	EP	Pin pro připojení GND

6.6.2 Napěťový regulátor MIC5209

Tento lineární napěťový regulátor je vhodný pro danou aplikaci především tím, že má nízký úbytek napětí, typicky 10 mV při nízkém zatížení a méně než 500 mV při plném zatížení, s lepší než 1 % výstupní přesností. Konkrétní typ, který jsem do zařízení implementoval, nese označení MIC5209-3.SYS v SOT-223 pouzdře. Bližší informace je možné získat přímo ze stránek výrobce, jímž je společnost Micrel, Inc.

6.7 Výpočet teoretické spotřeby zařízení bez akumulátoru

Výpočtem spotřeby zařízení se dostáváme k teoretické denní spotřebě, na základě které jsem zvolil kapacitu akumulátoru. Veškeré hodnoty použité pro výpočet vycházejí z typických hodnot pro jednotlivé prvky zařízení. Přehledná tabulka výsledných hodnot je uvedena níže (tabulka 6.10).

Průměrná spotřeba GSM modulu při GPRS spojení je 320 mA. Potřebný čas pro přihlášení do sítě, spojení a odeslání zprávy je cca 80 s (uvažováno se slabým signálem). Spotřeba procesoru při aktivním měření je od 12 do 60 mA - průměrně 16 mA na vstup. Spotřeba GSM modulu při režimu spánku je 50 μ A. MCU v aktivním režimu spotřebuje průměrně 200 μ A. Další důležité údaje jsou přehledně uvedeny pod tímto odstavcem.

Tabulka 6.10 Předpokládaný proudový odběr celého zařízení

Počet analogových vstupů	3	ks
Doba sepnutí měřicího analogového obvodu	1	s
Perioda ukládání vzorků	60	min
Doba navazování spojení GPRS	80	s
Průměrná spotřeba při GPRS spojení	320	mA
Perioda mezi GPRS komunikacemi	60	min
Počet GPRS spojení za den	24	spojení
Celkový čas GPRS spojení za den	1920	s
Spotřeba při GPRS za den	171	mA
Celkový čas sepnutý analogových obvodů za den	432	s
Doba spánku	84048	s
Průměrná spotřeba zařízení v režimu spánku za den	9,6	mA
Průměrná spotřeba analogových obvodů za den	1,92	mA
Celková denní spotřeba	181,19	mAh/d

Z tabulky 6.10 je patrné, že předpokládaná denní spotřeba zařízení je zhruba 181 mAh bez započítaného samovybíjení akumulátoru.

6.8 Výběr akumulátoru

Hlavní body, které jsou stěžejní pro výběr vhodného typu akumulátoru:

- Napětí akumulátoru 12 V.
- Kapacita akumulátoru s ohledem na uvažovaný odběr zařízení (viz tab. 6.10).
- Rozsah provozních teplot od -20°C do 50°C.
- Přiměřená hodnota samovybíjení, která by neměla přesáhnout 10% za měsíc.
- Akumulátor určen pro cyklické nabíjení.

Vycházím-li z řešení akumulátorů, která je v úvodu této práce, tak jako nejvhodnější akumulátory se jeví použít NiCd, LiFePO₄ a Pb. Vzhledem k pořizovací ceně a dostupnosti jednotlivých akumulátorů jsem zvolil olověný akumulátor. Jedná se o hermeticky uzavřený staniční akumulátor **NP7-12** výrobce **YUASA**, který se používá například v UPS a disponuje možností cyklického dobíjení, má přijatelnou hodnotu samovybíjení.

Tabulka 6.11 Parametry akumulátoru

Nominální napětí	12 V
Kapacita	7 Ah
Rozsah provozních teplot	-20 až 60 °C
Rozměry VxŠxH [mm]	151 x 65 x 97,5 mm
Váha [Kg]	2,65 kg
Samovybíjení při 20°C - 1 měsíc [%]	6-7 %
Samovybíjení při 20°C - 12 měsíců [%]	40 %

6.9 Výpočet celkové spotřeby zařízení včetně akumulátoru

Tabulka 6.12 Proudový odběr zařízení včetně samovybíjení akumulátoru

Zvolená kapacita akumulátoru	7 Ah
Samovybíjení baterie za měsíc	7,00 %
Rezerva kapacity proti hlubokému vybití	60,00 %
Spotřeba samovybíjením akumulátoru za den	16,33 mA
Rezerva akumulátoru proti hlubokému vybití	4,2 Ah
Využitelná kapacita akumulátoru	3 Ah
Kompletní spotřeba zařízení + samovybíjení za den	198,25 mA
Výdrž baterie při odpojení fotovoltaického panelu	363,16 h

Z tabulky 6.12 lze mimo celkové spotřeby se samovybíjením akumulátoru pozorovat rovněž, jak dlouho dokáže celý systém pracovat bez dobíjení. Tato hodnota vychází ze zachování rezervní kapacity akumulátoru, tak aby nebyl poškozen nadměrným vybitím. Pro akumulátor NP7-12 (12 V, 7 Ah) lze uvažovat i o 15 denní odstávce dobíjení, která může být způsobena špatným počasím, či jinými nepříznivými vlivy, které mohou nastat.

Vzorce potřebné k výpočtu teoretické spotřeby z důvodu obsáhlosti zde záměrně neuvádím, jsou ale uloženy ve formátu xls na příloženém CD.

6.10 Výběr fotovoltaického panelu

Vzhledem k navrhovanému zařízení není zapotřebí velkého fotovoltaického panelu s velkým výkonem, jelikož je spotřeba pouhých 197 mA za den. Při výběru jsem se omezil tedy pouze na panely do 5 W. Na základě tabulky 3.1 v úvodní části diplomové práce přicházejí v potaz dva druhy fotovoltaických panelů a to: panel s monokrystalickými články a panel s polykrystalickými články.

Panel s polykrystalickými články nedosahuje takové účinnosti jako monokrystalický v prostředí s ideálními slunečními podmínkami, ale je oproti němu levnější. Načež polykrystalický panel dosahuje lepší účinnosti právě při nedostatku slunečního záření, což je výhodné.

Dalším požadavkem na fotovoltaický panel je svorkové napětí, které jsem volil minimálně 12 V a dodávaný impulzní proud minimálně 200 mA.

Výsledkem výběru je fotovoltaický panel MP-5WP (viz obrázek 6.9).

Tabulka 6.13 Základní vlastnosti FV panelu

Typ použitých článků	Polykrystalické
Počet buněk v modulu	36 ks
Maximální výkon	5 W
Maximální napětí na prázdko	21,31 V
Maximální napětí při 5 W	18 V
Maximální proud při 5 W	0,28 A
Proud nakrátko I_{SC}	0,33 A
Rozměry panelu (v, š, h)	300 x 185 x 17 mm
Hmotnost	0,7 Kg
Rozsah pracovních teplot	-40°C až +85°C
Tolerance výstupního napětí	±3 %



Obrázek 6.9 FV panel MP-5WP

6.11 Požadavky na solární nabíječku

Hlavní kritériem pro výběr vhodného zapojení solární nabíječky je použití pro olověný akumulátor.

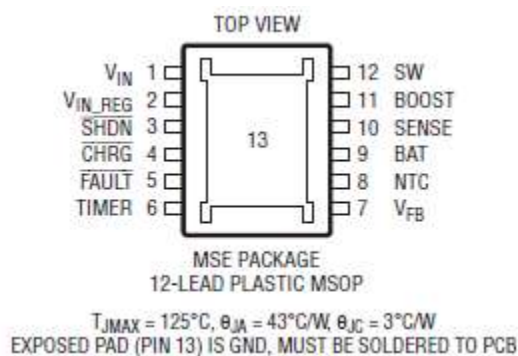
Dalším výrazným parametrem při výběru zařízení je možnost nabíjení akumulátorů konstantním proudem s proudovým ukončením, které je popsáno v kapitole 4.7.2.3.

Výrobci, kteří se touto problematikou zabývají, je nespočet, proto moje zaměření bylo k přednímu výrobcí těchto zařízení, jímž je firma Linear Technology.

Z nabídky jsem si poté vybral obvod **LT3652**, který se hodí pro nabíjení olověných, ale i jiných dalších akumulátorů a splňuje veškeré kladené požadavky.

6.11.1 Popis obvodu LT3652

Obvod LT3652 je firmou Linear Technology přímo určený pro solární aplikace do 2 A. Obvod zabezpečuje nabíjení konstantním proudem, který je nastavitelný. Obvod umožňuje ukončení nabíjení po uplynutí zadaného času, i pokud nabíjecí proud klesne pod C/10. Obvod dokáže odpojovat solární panel a tím zamezit přebíjení akumulátoru, což je přinejmenším užitečné. Dále je obvod vybaven monitorováním teploty akumulátoru (pokud teplota při nabíjení převyší nastavenou mez, ukončí se nabíjení) a také dvěma výstupy (otevřený kolektor) pro signalizaci stavu nabíjení a poruchy. Provedení obvodu LT3652 včetně označení jednotlivých pinů je na obrázku 6.10.



Obrázek 6.10 Obvod LT3652 v MSOP provedení včetně označení pinů

6.11.1.1 Základní vlastnosti

Tabulka 6.14 Základní vlastnosti obvodu LT3652 (převzato z [18])

Vstupní napětí	4,95 - 32 V
Programovatelný výstupní proud	>2 A
Ukončení nabíjení	Po dosažení C/10 nebo po nastaveném čase
Je možné nabíjet akumulátory	Li-Ion, LiPol, LiFePO ₄ , SLA (Pb), NiMH, NiCd
Maximální fixní frekvence	1 MHz
Max. odchylka referenčního napětí	0,5%
Max. odchylka nabíjecího proudu	5%
Max. odchylka ukončení nabíjení	2,5%
Výstupní piny	2x otevřený kolektor (nabíjení, porucha)
Provedení pouzdra	3x3mm DFN12 nebo MSOP-12
Provozní teplota	-40 až 125°C
Spotřeba ve stand-by režimu	85 µA

Další doplňující vlastnosti obvodu jsou soustředěny v datasheetu² výrobce.

6.11.1.2 Popis jednotlivých pinů

V_{IN} (Pin 1)

Napájecí pin obvodu, vstupní napětí od 4,95 V do 32 V.

V_{IN_REG} (Pin 2)

Jedná se o pin vstupního napětí řízený referencí. Maximální nabíjecí proud se snižuje, pokud je na tomto pinu napětí menší než 2,7 V. Pomocí odporového děliče se nastavuje minimální hodnota provozního napětí V_{IN}. Pokud není potřeba regulovat napětí z důvodu využití pouze špičkového výkonu fotovoltaického panelu, tak se tento pin připojí přímo na V_{IN}.

SHDN (Pin 3)

Vypínací pin, který při poklesu napětí na pinu pod mez 0,4 V přemostí zařízení do shutdown režimu. Standardně je tento pin spojen přímo s pinem V_{IN}.

² <http://cds.linear.com/docs/Datasheet/3652fc.pdf>

CHRG (Pin 4)

Výstupní pin pro signalizaci nabíjení. Zapojen je pomocí otevřeného kolektoru. Pokud je nabíjení ukončeno, je na výstupu vysoká impedance.

FAULT (Pin 5)

Výstupní pin pro indikaci poruchy v průběhu nabíjení. Zapojen je pomocí otevřeného kolektoru, když nenastane porucha, je na výstupu vysoká impedance. Tento pin indikuje i přehřátí akumulátoru.

TIMER (Pin 6)

Tento pin slouží pro ukončování nabíjení dle nastavitelné časové konstanty. Standardně je tento pin spojen se zemí. Lze ale připojit kapacitu 0,68 μF pro 3 h nabíjení a omezení doby mezi dalším nabíjením 22,5 min [18].

VFB (Pin 7)

Indikace napětí baterie ve zpětné vazbě. Na tomto pinu musí být napětí 3,3 V. Výstupní napětí akumulátoru je programovatelné pomocí odporového děliče, které můžeme naprogramovat až na hodnotu 14,4 V. Při ztrátě napětí na V_{FB} pinu o 2,5% se zahájí nový cyklus nabíjení (restart).

NTC (Pin 8)

Tento pin slouží k monitorování teploty baterie (negativní teplotní koeficient). Zapojuje se k zápornému pólu akumulátoru. Hodnota napětí na NTC pinu při 0°C = 1,36 V, při 40°C = 0,29 V (maximální možná teplota). Stoupne-li teplota na článku nad stanovenou mez 40°C je nabíjení přerušeno a vyhlásí se porucha (výstup FAULT). Opětovné nabíjení je spuštěno s hysterezí.

BAT (Pin 9)

Nabíjecí a monitorovací napěťový výstup. Na tento pin se připojuje proti zemi kondenzátor o hodnotě 10 μF jako oddělovací kapacita. Tento pin obvodu funguje k dosažení naprogramovaného výstupního napětí akumulátoru. Jakmile se ukončí nabíjecí cyklus, tak vstupní proud na BAT pinu je snížen na 0,1 μA , aby se minimalizovalo vybíjení baterie, když nabíječka zůstává připojená.

SENSE (Pin 10)

Sense pin, slouží jako nabíjecí proudový výstup. K tomuto výstupu se musí připojit rezistor s malým odporem a paralelně k němu ještě cívka. Napětí na odporu stanoví průměrnou hodnotu nabíjecího proudu.

BOOST (Pin 11)

Pin, který zvyšuje napájení pro výkonový přepínač. Tento pin usnadňuje nasycení přechodu tranzistoru, který se nachází v obvodovém zapojení obvodu LT3652. Mezi SW a BOOST vstupem je připojena kapacita o hodnotě min. 10 μ F. Rozsah nabíjení kondenzátoru je 0 – 8,5 V. Napětí na oddělovacím kondenzátoru je obnoveno přes usměrňovací diodu.

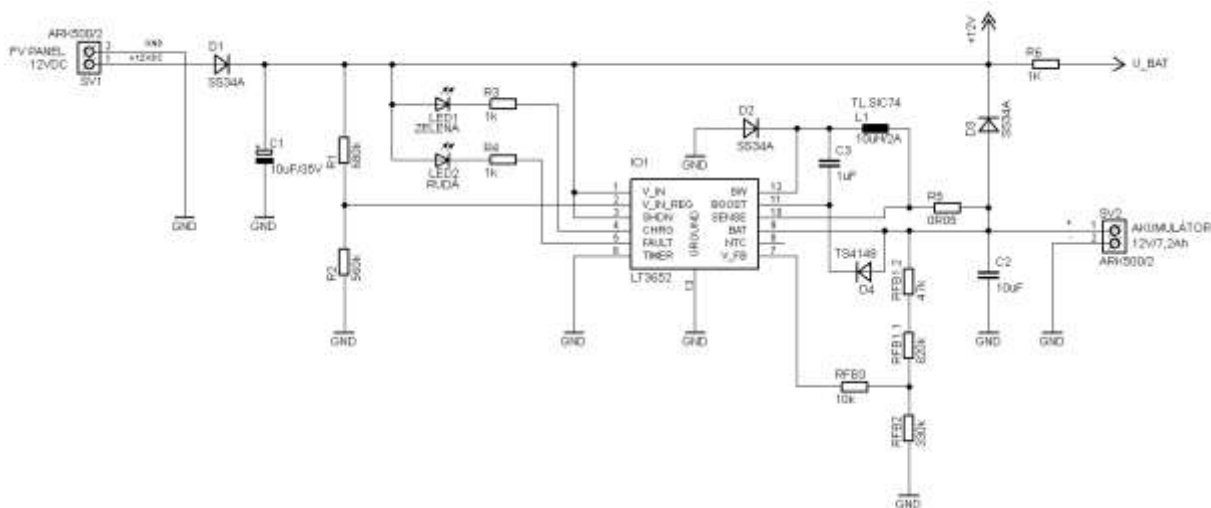
SW (Pin 12)

Tento pin je výstupem z nabíječky a musí být k němu přes zem připojena zenerova dioda.

7 OBVODOVÉ ŘEŠENÍ

7.1 Solární nabíječka LT3652

Schéma zapojení vychází z doporučeného zapojení výrobce. Individuální výpočty pro jednotlivé součástky jsou uvedeny níže.



Obrázek 7.1 Schéma zapojení solární nabíječky s obvodem LT3652

Výpočet odporového děliče R_1 , R_2 pro nastavení minimálního vstupního napětí:

Vyšel jsem ze vztahu, který je popsán v datasheetu [18], kde na pinu V_{IN_REG} musí být napětí minimálně 2,7 V.

$$U(V_{IN_{reg}}) = \frac{U \cdot R}{R_1 + R_2} \geq 2,7V \quad (3)$$

R_1 jsem si zvolil 680 k Ω a dopočítal R_2 podle:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{V_{IN(MIN)}}{2,7} - 1 \quad (4)$$

$$\frac{680}{R_2} = 1,2 \Rightarrow R_2 \cong 560k\Omega$$

Pokud napětí na solárním panelu klesne pod hranici 6 V, bude na vstupu V_{IN_REG} napětí menší jak 2,7 V a dojde k omezení výkonu a nabíjecího proudu.

Výpočet odporů R_{FB1} , R_{FB2} a R_{FB3} pro zpětnou vazbu nabíjení:

Na pinu V_{FB} je udržováno konstantní napětí a tím je dán i konstantní nabíjecí proud akumulátoru. Jedná se o zpětnou vazbu, která sleduje stav napětí akumulátoru a povoluje či zastavuje nabíjení.

Hodnoty pro **Pb** akumulátor se svorkovým napětím 12 V:

$$\frac{R_{FB2}}{R_{FB1}} = \frac{3,3}{V_{BAT(FLT)} - 3,3} = \frac{3,3}{12 - 3,3} = 0,3793 \quad (5)$$

kde: - $V_{BAT(FLT)}$ je napětí akumulátoru
- a 3,3 V je hodnota napětí, která musí být dodržena na pinu zpětné vazby V_{FB}

Nastavení hodnoty odporového děliče musí být provedena dle pokynů výrobce na hodnotu proudu $I_{RFB} = 10 \mu A$ a proto:

$$R_{FB2} = \frac{3,3}{I_{RFB}} = 330 k\Omega \quad (6)$$

$$R_{FB1} = \frac{R_{FB2}}{0,3793} = \frac{330}{0,3793} \cong 870 k\Omega \quad (7)$$

Ekvivalent odporového děliče je dán vztahem:

$$\frac{R_{FB1} \cdot R_{FB2}}{R_{FB1} + R_{FB2}} = \frac{870 \cdot 330}{870 + 330} = 239,25 \cong 240 k\Omega \quad (8)$$

Poslední hodnota odporu vychází ze vztahu:

$$R_{FB3} = 250 k\Omega - \frac{R_{FB1} \cdot R_{FB2}}{R_{FB1} + R_{FB2}} = 250 - 239,25 \cong 10 k\Omega \quad (9)$$

kde hodnota 250 k Ω udává odpor, který musí být na V_{FB} pinu dodržen.

Rozptyl hodnot napětí na pinu V_{FB} může být v rozsahu od 3,26 V do 3,34 V. Bližší informace o funkci pinu viz kapitola 6.11.1.2 nebo v [18].

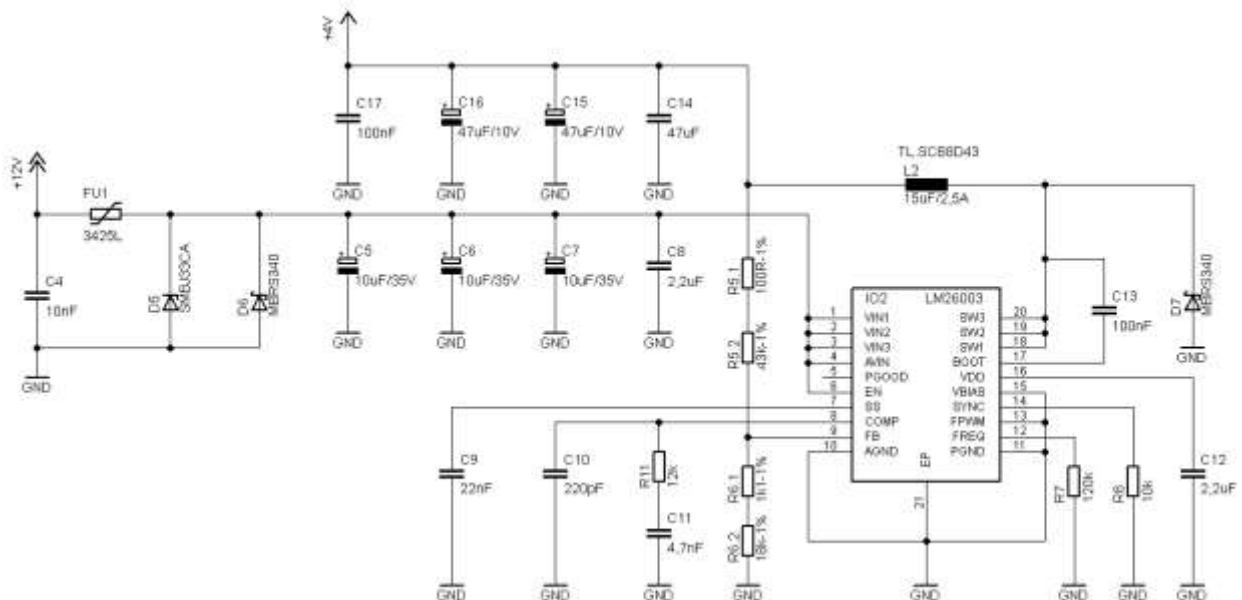
Pozn. ostatní hodnoty součástek byly voleny v souladu s doporučeným zapojením výrobce, které je obsaženo v [18].

7.2 Napájecí zdroje

7.2.1 Popis schéma zapojení LM26003

Schéma zapojení vychází z doporučení zapojení výrobce a je znázorněno na obrázku 7.2. Do zapojení jsem přidal odrušovací kondenzátory C₄, C₁₇ a diody D₅ a D₆. Napětí na výstupních svorkách SW je dáno zpětnou vazbou, která je nastavená pomocí odporového děliče (odpory R_{5,x} + R_{6,x}). Výstupní napětí je nastaveno na 4 V viz také vzorec (17) níže, R₅ jsem si zvolil 43,1 kΩ, V_{fb} je typicky 1,236 V.

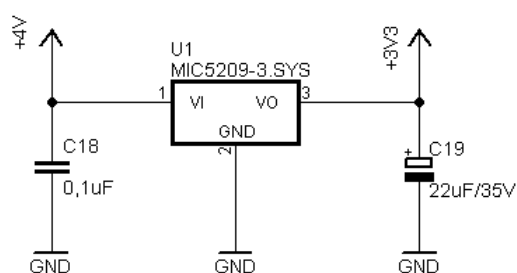
$$R_6 = \frac{R_5}{\left(\frac{V_{out}}{V_{fb}} - 1\right)} = \frac{43,1}{\left(\frac{4}{1,236} - 1\right)} = 17,1k\Omega \quad (10)$$



Obrázek 7.2 Napájecí zdroj s obvodem LM26003 - schéma zapojení

7.2.2 Popis schéma zapojení MIC5209

Jedná se o 4 pinový lineární napěťový regulátor v pouzdře SOT-223 (viz obrázek 7.3). Vstupní kondenzátor C₁₈, který je mezi pinem VI a GND jsem zvolil pro odrušení s velikostí 0,1 μF. Výstupní elektrolytický kondenzátor C₁₉ mezi VO a GND je poté instalován jako prevence proti oscilacím. Výstupní kondenzátor by měl mít hodnotu ESR (ekvivalentního odporu) okolo 1 Ω a rezonanční frekvenci nad 1 MHz. Proto je zde v zapojení použit tantalový kondenzátor s kapacitou 22 μF.

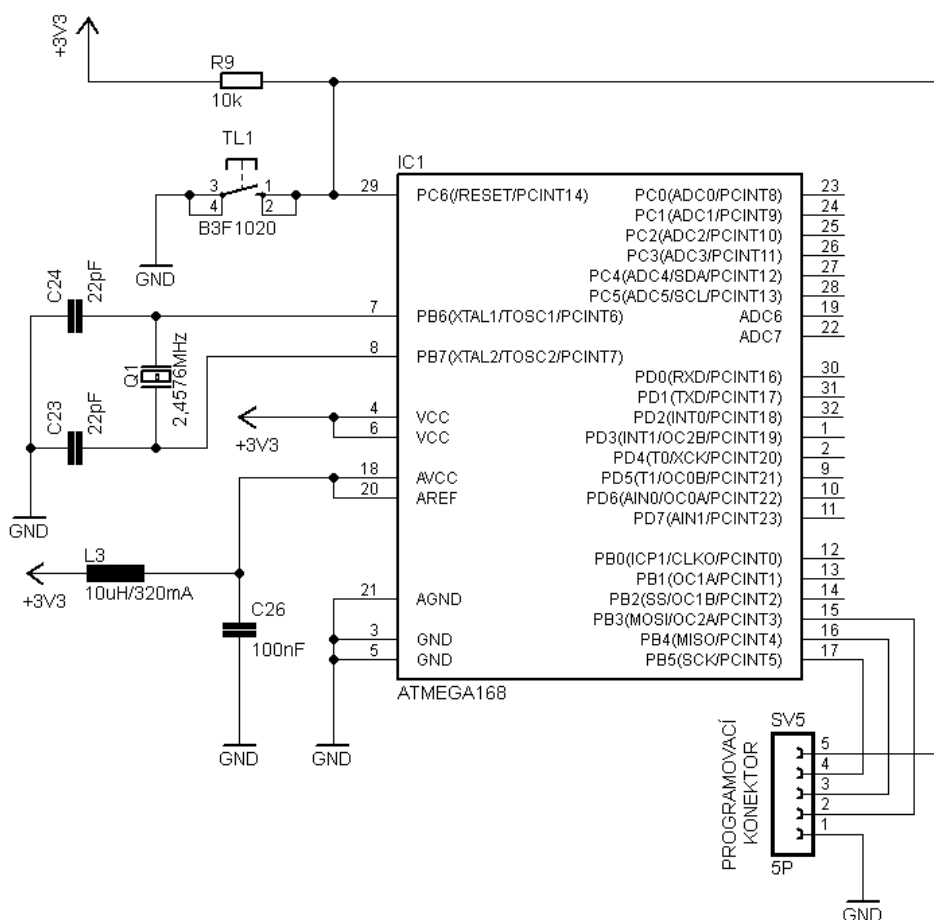


Obrázek 7.3 Lineární regulátor napětí MIC5209 - schéma zapojení

7.3 MCU a programovací konektor

Krystal, který tvoří externí oscilátor pro MCU jsem vybíral s přihlédnutím na přenosovou rychlost sériové linky, s ohledem na děličku v MCU a také s ohledem na dostupné hodnoty krystalů. Zvolil jsem si rychlost 9600 bd a dopočítal oscilátor:

$$Q_1 = \text{požadovaná_rychlost} \cdot 2^n = 9600 \cdot 2^8 = 24576000 = 2,4576\text{MHz} \quad (11)$$



Obrázek 7.4 Schéma zapojení MCU a programovacího konektoru

Hodnota kondenzátorů C_{23} a C_{24} se volí stejná a závisí na použitém krystalu, výši parazitní kapacity a elektromagnetického šumu prostředí. Základní pokyny pro výběr vhodných kondenzátorů je uveden v datasheetu výrobce (tabulka 9.3). Výsledné kondenzátory jsou použity keramické s hodnotou 22 pF.

Z důvodu potlačení šumu na analogových vstupech (některé digitální obvody uvnitř a vně generují elektromagnetickou interferenci) je mezi piny AV_{CC} , AREF a GND připojen LC filtr. AV_{CC} pin je zdrojem napájení pro analogové vstupy a AREF je referenční pin pro A/D převod. Hodnota cívky a kondenzátoru je doporučena výrobcem, tzn. 10 μ H cívka a 100 nF kondenzátor.

Programovací konektor SV5 je připojen 4 vodičově pomocí sériového synchronního rozhraní (SPI) k mikrokontroléru. Je využíván datový výstup MOSI, datový vstup MISO, výstup hodinového signálu SCK a vstup SS pro výběr obvodu. Pro softwarový reset je poté vyveden ještě jeden vodič přímo na pin MCU. Pro hardwarový reset je možné použít tlačítko TL1.

7.4 GSM modul a SIM karta

Periferie jsou k GSM modulu připojeny prostřednictvím 40 pinového ZIF konektoru (bližší popis pinů viz kapitola 6.5.2.8 obrázek 6.7). Z důvodu snížení spotřeby při neaktivní GSM komunikaci je do obvodu vřazen dvoukanálový MOSFET tranzistor pro odpojování napájení GSM modulu. Jakmile dá MCU povel k připojení napájení GSM modulu, sepne tranzistor T_3 a modul poté dává zpětnou informaci o připojení napájení pomocí výstupního pinu 13 (VDD), ke kterému je přes spínací tranzistor T_1 připojena signalizační dioda LED₃.

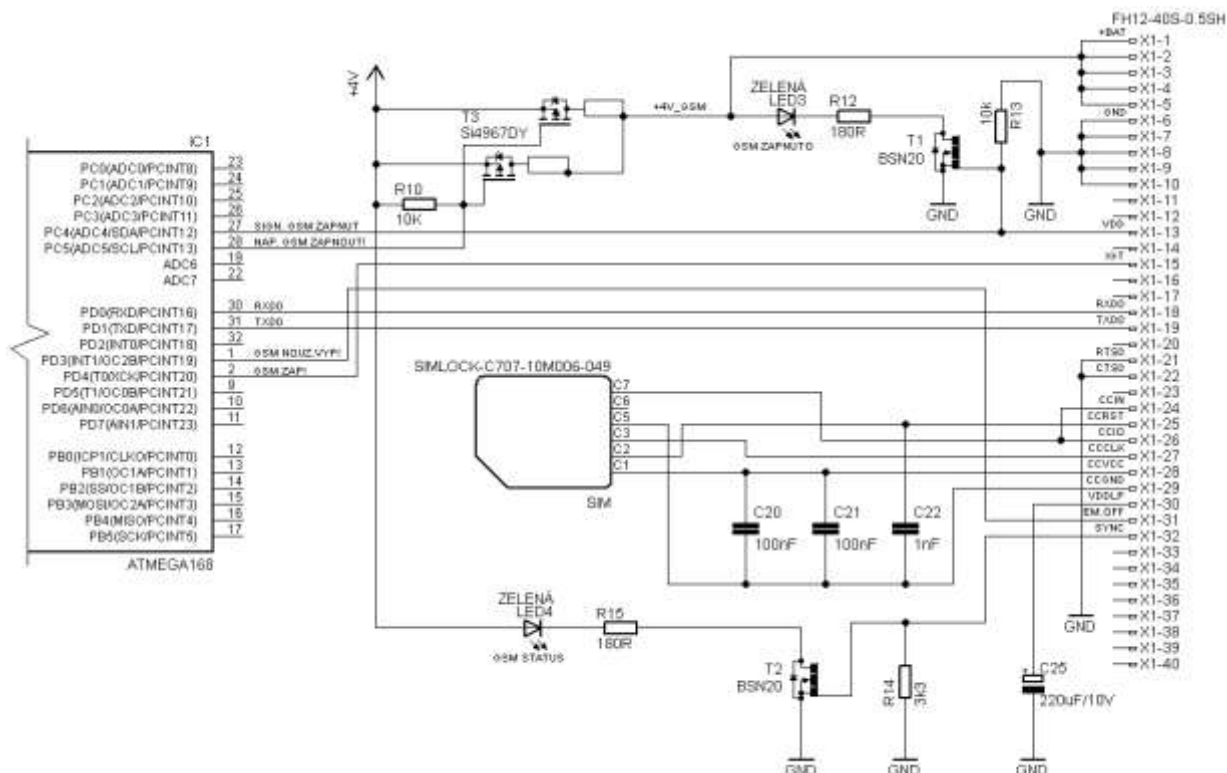
Samotné zapnutí GSM komunikace se provádí přivedením napájení na pin GSM modulu s označením IGT. Teprve až tehdy je možné s GSM modulem začít komunikovat.

Datová komunikace mezi MCU a GSM modulem je prováděna prostřednictvím sériového rozhraní na pinech PD0 a PD1. V případě vyskytnutí nečekané SW chyby, která by měla vliv na funkčnost zařízení, nebo jiné závažné chyby je implementována ochrana v podobě sepnutí pinu EMERG OFF, která bez ohledu na současný stav zařízení odpojuje modul. Veškerá data tím jsou ale nenávratně ztracena.

SIM karta je k modulu připojena pomocí 5 vodičů, kde 3 jsou signálové a opatřené odrušovacími kondenzátory, jeden vodič tvoří signálovou zem a další potom synchronizační pulzy.

Kondenzátor C_{25} připojený k pinu VDDL P slouží pro zálohování RTC obvodu v GSM modulu při odpojení napájení z pinu +BATT.

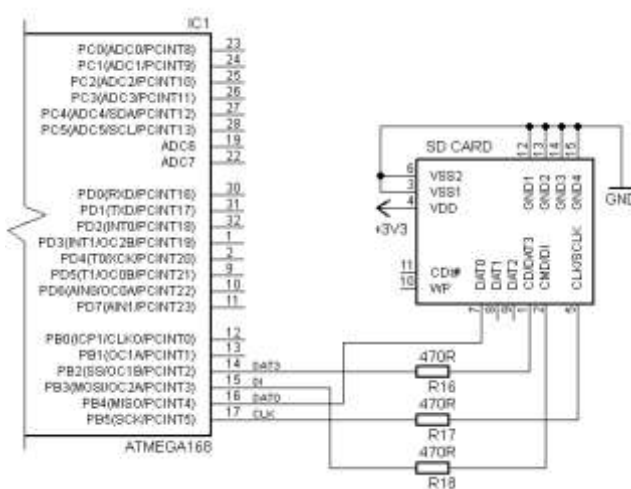
K výstupnímu pinu SYNC je přes tranzistor T_2 připojena LED₄, která signalizuje aktuální stav GSM modulu. Stavby modulu pro pin SYNC jsou uvedeny v tabulce 6.6.



Obrázek 7.5 Schéma zapojení GSM modulu a SIM karty

7.5 FLASH paměť

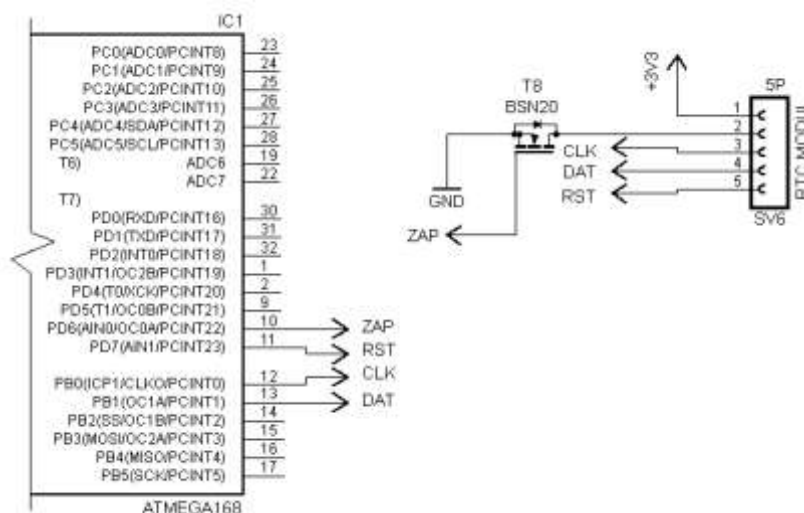
FLASH paměť je realizována pomocí SD karty, která je připojená k SPI rozhraní, podobně jako programovací konektor (viz obrázek 7.6). Sériově jsou mezi vodiče zapojeny ochranné rezistory R_{16} až R_{18} s hodnotou $470\ \Omega$. Maximální kapacita paměti může být až 32 Gb.



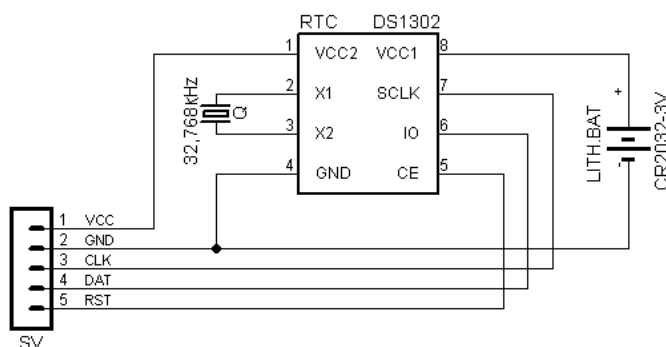
Obrázek 7.6 Schéma zapojení SD karty

7.6 RTC modul

Je použit již hotový kit s obvodem DS1302, krystalem 32,768kHz a zálohovací lithiovou baterií, jehož zapojení je na obrázku 7.8. K desce plošného spoje je tento kit připojen pomocí 5 pólového precizního hřebínku. Propojení s MCU je znázorněno na obrázku 7.7. RTC modul komunikuje s MCU prostřednictvím jednoduchého sériového rozhraní za pomoci 3 vodičů (data, hodiny a reset). K tomu, aby modul neodebíral proud, když nekomunikuje s MCU, je do obvodu přidán tranzistor T₈, který se stará o spínání GND pro RTC modul. V důsledku to znamená to, že při neaktivní komunikaci s MCU přechází RTC modul na napájení z vlastní 3 V lithiové baterie. Tento stav si vyhodnocuje sám obvod DS1302 a to v případě kdy se na pinu V_{CC2} ztratí napájení. Piny SCLK, IO a CE mají instalovaný vnitřní 40 kΩ pulldown rezistor proti GND.



Obrázek 7.7 Schéma zapojení MCU pro RTC modul

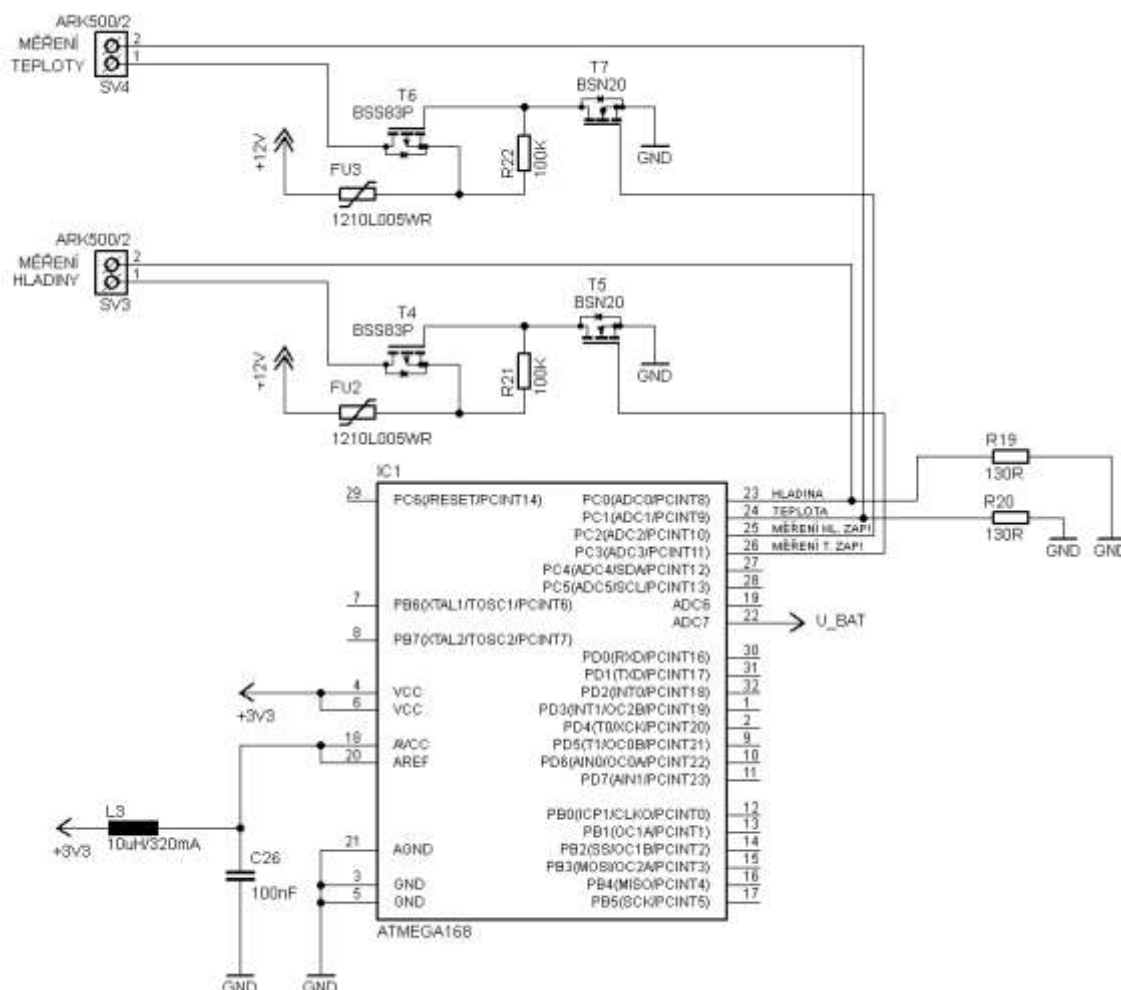


Obrázek 7.8 Schéma zapojení desky RTC modulu s obvodem DS1302

7.7 Analogové vstupy

Celkem jsou v aplikaci snímány 3 analogy, jsou to: napětí akumulátoru, měření teploty a měření hladiny (viz obrázek 7.6). Měření napětí na akumulátoru je řešeno připojením vodiče přes odpor R_6 přímo na svorku s kladným pólem akumulátoru. S využitím jednoduché definice Ohmova zákona lze dopočítat, že při napětí akumulátoru 14 V bude na měřicím pinu MCU napětí 3 V.

U zbylých dvou analogů je situace trochu odlišná. Sensory pro měření teploty a hladiny ke své funkci potřebují napájení 12 V, přičemž na svém výstupu mají signál 4 až 20 mA. Nejprve jsem navrhl převodník proud/napětí pomocí operačních zesilovačů, ale problém byl se značnou spotřebou a nepřesnými hodnotami při měření. Jelikož oba měřicí senzory jsou pasivní, tedy nepotřebují pro svou funkci další napájení, rozhodl jsem se pro jednoduché řešení prostřednictvím odporového děliče.



Obrázek 7.9 Schéma zapojení analogových vstupů

Vycházel jsem z toho, že maximální proud, který může senzor vyprodukovat je **23 mA**. Hydrostatický snímač tlaku FMX 167 touto hodnotou signalizuje poruchu snímání. Spodní hranice proudu je poté **4 mA**. Analogové vstupy MCU pracují s napětím od 0 V do Vcc, tedy od 0 do 3,3 V a proto pro výpočet rezistorů R₁₉ a R₂₀ platí:

$$U_{R19}(\text{max}) = 3,3V; \quad I_{R19}(\text{max}) = 23mA$$

$$R_{19} = R_{20} = \frac{U_{R19}(\text{max})}{I_{R19}(\text{max})} = \frac{3,3}{0,023} = 143,47\Omega \quad (12)$$

Při použití rezistoru R₁₉ a R₂₀ s hodnotou 130 Ω potom lze dopočítat hodnoty napětí na pinu MCU:

$$U_{PC}(\text{min}) = R_{19} \cdot I_{\text{min}} = 130 \cdot 0,004 = 0,52V$$

$$U_{PC}(\text{max}) = R_{19} \cdot I_{\text{max}} = 130 \cdot 0,023 = 2,99V \quad (13)$$

Pro správnou funkci analogových vstupů musí být zapojeny AVcc a AREF k referenčnímu napětí. Kdy AVcc pin slouží pro napájení analogových vstupů a AREF jako reference pro A/D převodník. K těmto dvěma pinům je připojen LC filtr pro potlačení šumu, které může vznikat od některých digitálních obvodů. Hodnoty vycházejí z doporučení výrobce.

8 NÁVRH SW VYBAVENÍ

8.1 Inicializace

Při spuštění mikrokontroléru nejprve probíhá inicializace všech součástí, které jsou nezbytně nutné pro správný chod a které budeme potřebovat. Tato inicializace probíhá prostřednictvím funkce *init_devices()*, kde se volají další funkce pro inicializace, například inicializace sériového portu, ADC převodníku, čtení a zápis na SD kartu, nebo portů. Ukázka inicializace portů a následné volání, pro přehlednost jsem zápis ponechal v binární interpretaci:

```
void port_init (void)
{
    DDRB = 0b11100101;    //MOSI vystup, MISO vstup
    PORTB = 0b00000010;    //Urovne vystupu log.0, pro SCK log. 1
    DDRC = 0b00101100;    //PC2,3,5 vystupy, ostatni vstupy
    PORTC = 0b00000000;    //Vystupni piny v 0, neaktivni pull-up R na vstupech
    DDRD = 0b11011010;    //PD3,4,6,7 vystupy, ostatni vstupy
    PORTD = 0b00000000;    //Vystupni piny v 0, neaktivni pull-up R na vstupech
}

void init_devices (void)    //Funkce init_devices pro volani
{
    port_init();
}
```

8.2 Obsluha RTC

Základním prvkem pro hodiny reálného času je obvod DS1302. Obvod komunikuje s MCU prostřednictvím 3 vodičů, kde signál RST aktivuje komunikaci s DS1302, signál CLK potvrzuje platná data a signál dat, který odesílá a přijímá. Komunikace probíhá odesláním příkazového bajtu a následně dochází k odeslání bajtu s daty, nebo příjmu bajtu s daty. MSB bit příkazového bajtu je vždy v úrovni logické 1, jinak není možné do obvodu zapisovat.

Obvod je vybaven vlastní EEPROM pamětí s 31 paměťovými buňkami. Data se posílají od méně významného bitu po nejdůležitější, tedy od bitu RD/WR po 1. Adresy registrů jsou pro přehlednost uvedeny na obrázku 8.2.

7	6	5	4	3	2	1	0
1	RAM	A4	A3	A2	A1	A0	RD
	CK						WR

Obrázek 8.1 Adresový/řídící bajt obvodu [30]

ČTENÍ	ZÁPIS	BIT 7	BIT 6	BIT 5	BIT 4	BIT 3	BIT 2	BIT 1	BIT 0	ROZSAH
81h	80h	CH	DESÍTKY SEKUND			SEKUNDY				00–59
83h	82h		DESÍTKY MINUT			MINUTY				00–59
85h	84h	12/24	0	10 AM/PM	HODINY	HODINY				1–12/0–23
87h	86h	0	0	10 DATUM		DATUM				1–31
89h	88h	0	0	0	10 MĚSÍC	MĚSÍC				1–12
8Bh	8Ah	0	0	0	0	DEN V TÝDNĚ				1–7
8Dh	8Ch	10 ROK			ROK					00–99
8Fh	8Eh	WP	0	0	0	0	0	0	0	—
91h	90h	TCS	TCS	TCS	TCS	DS	DS	RS	RS	—

Obrázek 8.2 Adresy registrů a význam jednotlivých bitů [30]

Tabulka v prvních dvou sloupcích zachycuje příkazové bajty a v dalších sloupcích jsou popsána data, která se odesílají, nebo přijímají po odeslání příkazového bajtu. Všimněme si bitu 7 s označením WP (Write Protect), který rozhodně stojí za zmínku, jelikož tento bit je nutné před zahájením jakékoliv komunikace vynulovat. Dále potom bit 7 s označením (12/24) musí být rovněž vynulován, neboť chceme, aby se používal 24 hodinový cyklus. Pro zadávání data a dne do obvodu je výhodnější zadat pouze datum a den si již obvod doplní sám tak, aby nedocházelo ke kolizím.

Před zahájením zápisu je nutné aktivovat linku RESET, poté odeslat řídicí bajt tak, že nastavíme linku DAT do potřebné logické úrovně a následně aktivujeme puls na lince CLK. Náběžná hrana pulsu CLK potvrzuje platná data. Přenos je ukončen odpadnutím signálu RESET, tzn. přechodem do logické 1.

Při čtení je postup podobný jako u zápisu, avšak první sestupná hrana z posledního pulsu CLK potvrzuje platná data na lince DAT. Tato data jsou poplatná po celou dobu trvání signálu CLK v logické úrovni 0. Po náběžné hraně signálu CLK přechází DAT do stavu vysoké impedance, kde je napěťová hodnota plovoucí. Při následující sestupné hraně se potvrzují nová platná data a přenos je ukončen, jakmile je RESET v logické 0. Zdrojový kód s popisem čtení z obvodu RTC je uveden pod tímto odstavcem.

```
#define CLK_M DDRB           //PB0 nastavení orientace
#define DATA_M DDRB        //PB1 nastavení orientace
#define RST_M DDRD           //PD7 nastavení orientace
#define CLK_PORTB            //PB0 port jako CLK nebo taky CE
#define DDO_PORTB            //PB1 pin nastaven jako vystup dat
#define DDI_PINB             //PB1 pin nastaven jako vstup dat
#define RST_PORTD            //PD7 nastaven jako RST

void init_rtc ()             //Inicializace a nastavení do vychoziho stavu
{
    CLK_M |= (1<<PB0);       //CLK jako vystup
    RST_M |= (1<<PB1);       //RST jako vystup
    DATA_M |= (1<<PD7);     //DATA jako vystup
    CLK = PORTB &~ (1<<PB0); //CLK jako vstup
```

```

    RST = PORTD &~ (1<<PD7); //RST jako vstup
    DDO = PORTB &~ (1<<PB1); //DATA jako vstup
}
void clk_rtc (void)          //Vytvoreni hodinoveho pulsu na vystupu CLK
{
    _delay_us (5); CLK = 1; _delay_us (5); CLK = 0; _delay_us (5);
}
unsigned char read_rtc (unsigned char adresa)    //Cteni dat z RTC
{
    unsigned char cc1, rtc_data;
    init_rtc();
    rtc_data=0;
    RST = 1;                                //Aktivace linky, zahajeni prenosu
    for (cc1=0; cc1<8; cc1++)                //Prenos command bajtu
    {
        if ((adresa&0x01) == 1) DDO = 1;      //Podminka
        else DDO = 0;
        adresa>> 1;                            //Posunuti o jeden bit doprava
        clk_rtc ();
    }
    DATA_M = 0;                            //Nastaveni DAT jako vstup
    rtc_data = 0;
    for (cc1=0; cc1<8; cc1++)                //Cyklus pro prenos dat
    {
        rtc_data>>= 1;
        if (DDI) rtc_data |=128;

        clk_rtc ();
    }
    DDO = 0;                                //Ukonceni komunikace s obvodem
    RST = 0;
    return rtc_data;
}

```

8.3 Snímání hodnot z analogových vstupů

Použitý mikrokontrolér ATmega168 má k dispozici celkem 8 10-bitových ADC převodníků s absolutní přesností ± 2 LSB a časem převodu již od 65 μ S. Než přistoupíme k samotné ukázce programu, popíšu zde v krátkosti význam jednotlivých registrů, které se v kódu budou objevovat.

Registr ADMUX (ADC multiplexorový výběrový register)

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
(0x7C)	REFS1	REFS0	ADLAR	–	MUX3	MUX2	MUX1	MUX0	ADMUX
Read/write	R/W	R/W	R/W	R	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial value	0	0	0	0	0	0	0	0	

Obrázek 8.3 Obrázek výběrového multiplexorového registru ADMUX [16]

- Hodnota bitů **MUX0** až **MUX3** určuje, který z analogových vstupních kanálů je připojen na vstup A/D převodníku.
- Pomocnou obsahu bitu **ADLAR** je možné zvolit zarovnání výsledku převodu v

registrech ADCL a ADCH.

- Bity **REFS0** a **REFS1** jsou určeny pro výběr zdroje referenčního napětí. Za zdroje referenčního napětí je myšleno:
 - a) napětí přivedené na pin AREF (2 V až AVcc),
 - b) napájecí napětí na pinu AVcc,
 - c) vnitřní reference 2,56 V s připojením blokovacího kondenzátoru na AREF.

Registr ADCH a ADCL

V těchto registrech se nachází zarovnaný výsledek AD převodu a zároveň tyto dva registry tvoří jeden 16-bitový registr ADC.

Registr ADCSRA (ADC Control and Status Register)

Bit (0x7A)	7	6	5	4	3	2	1	0	
	ADEN	ADSC	ADATE	ADIF	ADIE	ADPS2	ADPS1	ADPS0	ADCSRA
Read/write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial value	0	0	0	0	0	0	0	0	

Obrázek 8.4 Obrázek kontrolního a stavového registru ADCSRA [16]

- Bity **ADPS0** až **ADPS2** určují dělicí poměr mezi hodinovou frekvencí a frekvencí vstupních hodinových impulsů do ADC. Pro dosažení přesnosti výsledku 10 bitů musí být frekvence AD převodníku mezi 50 až 255 kHz.
- Nastavením bitu **ADIE** do logické 1 a pokud je zároveň povolené globální přerušení, vykoná se přerušení ADC převodu.
- **ADIF** bit signalizuje přerušení, jedná se o tzv. příznakový bit.
- Bit **ADATE** nastavuje automatické spouštění AD převodníku
- **ADSC** je určen pro start převodu a je aktivován logickou 1, po ukončení převodu se tento bit musí vynulovat.
- Zápisem logické 1 do bitu **ADEN** se povoluje činnost AD převodníku, v opačném případě se po přivedení logické 0 převodník vypíná.

Ukázka programu pro převod analogové hodnoty teploty na digitální číslo a následné čtení hodnoty z ADC pinu:

```
// Vytvoreni maker pro praci s ADC

#define ADC_ZAPNOUT   ADCSRA |= (1<<ADEN) //Log 1 do ADEN bitu
#define ADC_VYPNOUT   ADCSRA &= 0x7F    //Log 0 do ADEN, zbytek 1
#define ADC_START     ADCSRA |= (1<<ADSC) //Start prevodu

unsigned char teplota[7];                //Alokace pole pro teplotu

void ADC_init(void)                      //Inicializacni fce
unsigned int ADC_read(void)              //Fce pro cteni ADC
void readTeplota(unsigned char)          //Fce pro cteni teploty

//Inicializace analogovych portu, prevodni cas je 65uS //
void ADC_init(void)
{
    ADCSRA = 0x00;                        //Vypnuti ADC
    ADMUX = 0x41;                         //Nastaveni ADC1 jako vstup, AVcc jako ref.
    ADCSRA = 0x82;                         //Delici faktor 4, a povoleni cinosti AD
    ADC_ENABLE;                           //Povoleni ADC
}

// Prevod analogove merene hodnoty na digitalni //

unsigned int ADC_read(void)
{
    char i;
    unsigned int ADC_temp, ADCH_temp;      //Deklarace pomocnych pro
                                           //prumerovani
    unsigned int ADC_hodnota = 0;          //Deklarace a nulovani

    for(i=0;i<5;i++)                      //Pro lepsi presnost se prevod provede 5x
    {
        ADC_START;                        //Zacatek prevodu
        while(!(ADCSRA & 0x10));          //Cekaci cyklus na dokonceni prevodu
        ADCSRA|=(1<<ADIF);                //Priznakovy bit preruseni do 1
        ADC_temp = ADCL;                   //Cteni ADCL registru
        ADCH_temp = ADCH;                  //Cteni ADCH registru

        //Akumulace vysledku pro pozdejsi prumerovani
        ADC_temp +=(ADCH_temp << 2);
        ADC_hodnota += ADC_temp;
    }
    ADC_hodnota = ADC_hodnota >> 5; //Prumerovani
    if(ADC_hodnota > 1023) ADC_hodnota = 1023; //Podmninka pro splneni
                                                //max. hodnoty
    return ADC_hodnota;                    //Ulozeni int hodnoty do
ADC_hodnota
}

void readTeplota(unsigned char channel) //Funkce cteni teploty s
                                           //parametrem channel
{
    unsigned int hodnota;
    float volt;                            //Datovy typ pro volty

    ADMUX = 0x41 | channel;                //Nastaveni ADMUXU pro ADC
    hodnota = ADC_read();                  //Prirazeni hodnoty do ADC_read
}
```

```

volt = (float)(hodnota * 3.3) / 1024.0; //Vypocet digitalni hodnoty
hodnota = (unsigned int)(volt * 1000); //Pomocne nasobeni

//Zapis namerenych hodnot do poli
teplota[6] = 'C'; //Prirazeni C pro teplotu
teplota[5] = 0xb0; //Prirazeni ° pro teplotu
teplota[4] = (hodnota % 10) | 0x30; //Hodnota za desetinnou tec.
teplota[3] = '.'; //Prirazeni desetinne tecky
hodnota = hodnota / 10; //Deleni 10
teplota[2] = (hodnota % 10) | 0x30; //Prvni cislo hodnoty
hodnota = hodnota / 10; //Deleni 10
teplota[1] = (hodnota % 10) | 0x30; //Druhe cislo hodnoty
hodnota = hodnota / 10; //Deleni 10
teplota[0] = hodnota | 0x30; //Treti cislo
}

```

Podobná struktura kódu je použita i pro obsluhu analogového pinu pro měření výšky hladiny a napětí na akumulátoru.

8.4 Ukládání a čtení dat z FLASH paměti

Paměťová část dataloggeru tvořená SD kartou je k mikrokontroléru připojena pomocí SPI rozhraní, kde MCU je v pozici Master a SD karta v pozici SLAVE zařízení. Komunikace na rozhraní probíhá v následujícím pořadí:

- Začátek komunikace je zahájen nastavením pinu SS do log. 0 na zařízení SD karty.
- Následně od MCU probíhá generování hodinového SCK signálu a v tom samém okamžiku mohou obě zařízení posílat data. MCU přes pin MOSI a SD karta přes pin MISO.
- Komunikace probíhá do doby, dokud MCU generuje hodinový signál SCK a hodnota SS je stále v úrovni log. 0.

Mikrokontrolér pro řízení a sledování stavů na SPI rozhraní využívá dva registry, které je nutné, z důvodu pochopení SW, zde zmínit. Jsou to registry SPCR a SPSR.

Řídicí registr SPCR (SPI Control Register)

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
0x2C (0x4C)	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: flex; justify-content: space-between;"> SPIESPEDORDMSTRCPOLCPHASPR1SPR0 </div>								SPCR
Read/write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial value	0	0	0	0	0	0	0	0	

Obrázek 8.5 Obrázek řídicího registru SPCR pro SPI rozhraní [16]

- Bity **SPR0** a **SPR1** nastavují frekvenci generátoru hodin a to v poměru se signálem SCK. Například zápis 010 nastavuje frekvenci $SCK = f_{osc}/64$.

- **CPHA** nastavuje fázi hodinového signálu a to tak, že log. 1 se data vzorkují na doběžnou hranu hodinového signálu a v opačném případě na náběžnou hranu.
- **CPOL** nastavuje polaritu hodinové signálu.
- **MSTR** bitem se vybírá režim MASTER/SLAVE, kde log. 1 zapsaná v tomto bitu signalizuje nastavení MCU v režimu MASTER.
- **DORD** nastavuje pořadí dat buď od LSB log. 1, nebo od MSB log. 0.
- **SPE** bit povoluje činnost jednotky SPI.
- **SPIE** poté povoluje přerušení od SPIE, v log. 1 jsou poté povolená globální přerušení.

Stavový registr SPSR (SPI Status register)

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
0x2D (0x4D)	SPSR							SPI2X	
Read/write	R	R	R	R	R	R	R	R/W	
Initial value	0	0	0	0	0	0	0	0	

Obrázek 8.6 Obrázek stavového registru SPSR pro SPI rozhraní [16]

- Bitem **SPI2X** je možné zapsáním log. 1 zdvojnásobit rychlost SPI.
- Bity 1 až 5 jsou nevyužity.
- Bit **WCOL** se nastaví na hodnotu log. 1 jakmile se do SPI registru začne zapisovat. Jeho příznakem se zabráňuje kolizím při zápisu.
- **SPIF** je poté příznakový bit přerušení od SPI rozhraní. Po dokončení sériového přenosu dat se příznak SPI na hodnotu log. 1. Příznakový bit SPIF je nilovaný automaticky po skončení odpovídající obsluhy přerušení.

Datový registr SPDR

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
0x2E (0x4E)	SPDR							LSB	
Read/write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial value	X	X	X	X	X	X	X	X	Undefined

Obrázek 8.7 Obrázek datového registru SPI rozhraní [16]

Datový registr SPDR se využívá na přenos dat mezi polem univerzálních registrů a posuvným registrem SPI. Zápisem do registru SPDR je inicializován přenos dat, kde čítání registru způsobuje přetečení obsahu posuvného registru SPI.

Ukázka inicializačního softwaru SPI rozhraní pro komunikaci s SD kartou:

```
#define SPI_SD          SPCR = 0x52    //SPE zap., MSB, SCK low, MASTER, fosc/64
#define SPI_HIGH_SPEED  SPCR = 0x50; SPSR |= (1<<SPI2X) //Dvojnásobne SCK

void spi_init(void);           //Funkce init pro SPI
unsigned char SPI_prenos(unsigned char); //Otypovani pro prenos
unsigned char SPI_prijem(void); //Otypovani pro prijem

void spi_init(void)           //Funkce init pro SPI
{
    SPCR = 0x52;               //SPI zap., MSB, SCK low, MASTER, fosc/64
    SPSR = 0x00;               //Nulovani stavoveho registru
}

unsigned char SPI_prenos(unsigned char data)    //Funkce pro prenos
{
    SPDR = data;                               //Zahajeni prenosu "data"

    while(!(SPSR & (1<<SPIF)));                //Cekaci smycka pro dokonceni prenosu
    data = SPDR;                               //Zapsani dat do datoveho registru SPDR

    return(data);                             //Vraceni datoveho registru
}

unsigned char SPI_prijem(void)                 //Funkce pro prijem
{
    unsigned char data;

    SPDR = 0xff;                               //Nastaveni datoveho registru SPDR na 1

    while(!(SPSR & (1<<SPIF)));                //Cekaci smycka na dokonceni prijmu
    data = SPDR;                               //Zapsani dat do datoveho registru SPDR

    return data;                              //Vraceni datoveho registru
}
```

SPI rozhraní je nyní nastavené a je tedy možné přejít k samotné realizaci zápisu a čtení z SD karty. Řízení je prováděno pomocí jednoduchého *send-repose* protokolu. Řídící rámce jsou rozděleny na hlavní rámce **CMD** a na aplikační řídicí rámce **ACMD**. Řídící rámec začíná datovou sekvencí 01, která je následovaná šesti bity řídicího příkazu a čtyřmi bajty argumentu řídicího příkazu. Poté jsou začleněny sedmi bitové CRC se stop bitem 1.

Každý řídicí rámec má odpovídající odezvu, která je pro SPI mód rozdělena na typy R1, R2 a R3. Každý typ poté obsahuje 8 bitů různých parametrů, které je možné nastavovat. Každá část komunikace musí začínat startovacím rámcem s hodnotou *0xFE*, následován blokem dat, typicky 512 bajtů a zakončeno 16ti bitovým CRC. Při každém zápisu na kartu je generován tzv. Write Status rámec o délce jednoho bajtu. Při chybném čtení dat z karty je generován Read Error rámec. Pro více informací o řídicích a statusových rámcích lze získat ze stránek SD Asociace³, nebo přímo z datasheetu od

³ <https://www.sdcard.org/home/>

SD karty⁴. Níže jsou v tabulce 8.1 vybrány pouze nejdůležitější SD řídicí příkazy, které se v kódu objevují.

Software je rozčleněn na jednotlivé části, které slouží pro:

- Odesílání požadavků - *SD karty - SD_sendCommand*
- Čtení jednoho bloku - *SD_readSingleBlock*
- Zápis jednoho bloku - *SD_writeSingleBlock*
- Atd.

Tabulka 8.1 Základní řídicí příkazy pro SD kartu

Příkaz	Argument	Typ	Popis
CMD0	-	R1	Povel k resetování karty a přechod do IDLE režimu
CMD16	Blok o délce 32 bitů	R1	Volba délky bloku dat
CMD17	Blok adres 32 bitů	R1	Čtení jednoho bloku dat
CMD24	Blok adres 32 bitů	R1	Zápis jednoho bloku dat
CMD55	-	R1	Následující příkaz bude specifický (ACMDxx)
CMD58	-	R3	Čtení OCR registru
ACMD41	-	R1	Inicializace karty

Ukázka deklarace jednotlivých částí SW vybavení pro čtení a zápis na SD kartu:

```
unsigned char SD_init(void);
unsigned char SD_sendCommand(unsigned char cmd, unsigned long arg); //Poslat pozad.
unsigned char SD_readSingleBlock(unsigned long startBlock); //Cteni jednoho bitu
unsigned char SD_writeSingleBlock(unsigned long startBlock); //Zapis jednoho bitu
unsigned char SD_readMultipleBlock (unsigned long startBlock, unsigned long
totalBlocks); //Cteni vice bitu
unsigned char SD_erase (unsigned long startBlock, unsigned long totalBlocks);
//Vymazani karty
```

A dále ukázka kódu pro zápis jednoho bloku na SD kartu:

```
unsigned char SD_writeSingleBlock(unsigned long startBlock)
{
unsigned char odpoved;
unsigned int i, opakovani=0;
odpoved = SD_sendCommand(WRITE_SINGLE_BLOCK, startBlock); //Zapis prikazu

if(odpoved != 0x00) return odpoved; //Status SD karty: 0x00 - OK (zadny nast. flag)

SD_CS_ASSERT;
```

⁴ <http://www.circlemud.org/jelson/sdcard/SDCardStandardv1.9.pdf>

```

SPI_prenos(0xfe);           //Odeslani startovacího bloku 0xfe (0x11111110)

for(i=0; i<512; i++)        //Odeslani 512 bajtu dat
    SPI_prenos(buffer[i]);

SPI_prenos(0xff);           //Prenos 16-bitového CRC
SPI_prenos(0xff);

odpoved = SPI_prijem();

if( (odpoved & 0x1f) != 0x05) //odpoved= 0xxx0AAA1 ; AAA='010' - data OK
{
    //AAA='101'-data chyba, CRC chyba
    SD_CS_DEASSERT;           //AAA='110'-data chyba, chyba zapisu
    return odpoved;
}

while(!SPI_prijem())         //Cekani na dokončení zápisu a nastavení do IDLE
if(opakovani++ > 0xffff){SD_CS_DEASSERT; return 1;}

SD_CS_DEASSERT;
SPI_prenos(0xff);           //8 CLK zpoždění před resetováním CS linky
SD_CS_ASSERT;               //Znovu potvrdit, zda-li CS linka je obsazena

while(!SPI_prijem())         //Cekani na dokončení zápisu a nastavení do IDLE
    if(opakovani++ > 0xffff){SD_CS_DEASSERT; return 1;}
SD_CS_DEASSERT;

return 0;
}

```

8.5 Využití úsporných režimů MCU

Z důvodu snížení spotřeby při nečinnosti MCU je do programového vybavení implementována část řešící uspávání mikrokontroléru. K tomu, aby se mikrokontrolér uvedl do úsporného režimu, je nutné nadefinovat časový interval, kdy se tak bude dít. ATmega168 nabízí celkem 3 čítače/časovače, kterými lze tento časový interval nastavit. Pro moji aplikaci jsem využil čítač/časovač 1, který je 16 bitový a nabízí možnost počítání až do hodnoty 65536. Zbylé dva čítače/časovače, které ATmega obsahuje, jsou totiž pouze 8 bitové.

8.5.1 Nastavení čítače

Obsah registru TCNT1 čítače/časovače 1 je v tomto případě inkrementován vnitřně na základě frekvence z externího oscilátoru o hodnotě 2,4576 MHz. Výpočet pro správné nastavení přerušení řeší v kódu pomocná proměnná s názvem *prerusení*, kde je uložena hodnota pro přetečení registru TCNT1. Jakmile dojde k přetečení registru, vykoná se program uvedený pod cyklem *if* a následně se nastaví hodnota cyklu zpět do výchozí pozice, od které se znovu začíná počítat.

Program pro nastavení čítače 1 je následující:

```
#define INTERVAL      3600    //Interval mezi merenimi, nastaven na 36000 sekund
#define EXT_OSC       2457.6 //Hodnota externiho oscilatoru v Hz

volatile unsigned char cykl; //Nadefinovani promenne cykl

ISR (TIMER1_OVF_vect)      //Pretečení registru TCNT1
{
    float preruseni;
    preruseni = ((INTERVAL/EXT_OSC)*1000000)/65536 //Nastaveni hodnoty pro
                                                    opakovani cyklu
    if(cykl==preruseni) //Pokud se cyklus rovna poctu preruseni, probud MCU
    {
        //Kód, který se bude vykonávat po pretečení registru, viz. kapitola 8.5.2
    }
}

int main(void)
{
    TCCR1B |= (1 << CS10)|(1 << CS11)|(1 << CS12); //Nastaveni externiho CLK, nabezna
                                                    hrana signalu
    TIMSK |= (1 << TOIE1); //Preruseni pri pretečení
    sei(); //Povoleni globalnich preruseni
    while(1); //Nekonecna smycka
    return 0;
}
```

8.5.2 Nastavení režimu spánku

Režimy spánku (sleep mody) umožňují vypnout právě nevyužívané moduly v mikrokontroléru a tím zásadně snížit spotřebu energie. ATmega168 nabízí využití pěti režimů spánku, které jsou uvedeny v tabulce na obrázku 8.8.

Režim spánku, který využívám pro uspávání a probouzení MCU se jmenuje Standby a bitově je interpretován jako 110 (bity SM0 - SM2). MCU při tomto režimu využívá jako zdroj hodinového signálu externí krystal a realizace instrukce SLEEP způsobí, že MCU přejde do pohotovostního režimu. Je to jediný režim spánku, který umožňuje využití externího krystalu, což je výhodné, jelikož instalovaný externí krystal má relativně malou frekvenci. To znamená, že MCU bude mít při použití externího krystalu menší spotřebu.

Uspání MCU probíhá nastavením bitu SE příkazem *sleep_enable*, následuje definice režimu spánku *set_sleep_mode(SLEEP_MODE_STANDBY)* a následně příkazem *sleep_mode()* uvedení jednotky do režimu spánku, zapsáno:

```
//Vypnutí periférie (RCT, GSM, Analogy)
PORTD &= ~(1<<PD6)|(1<<PD4);
PORTC &= ~(1<<PC2)|(1<<PC3)|(1<<PC5);

sleep_enable;
set_sleep_mode(SLEEP_MODE_STANDBY);
sleep_mode();
```


Z kódu pro uspávání jednotky je patrné, že kromě uvedení MCU do režimu spánku, vypínám i napájení periférií (RCT, GSM a analogové vstupy), které by mohli při nečinnosti MCU odebírat energii.

Probouzení probíhá na základě přetečení registru TCCR1 a je vyjádřeno syntaxí:

```
if(cykl==preruseni)          //Pokud se cyklus rovna počtu preruseni, probud MCU
{
    sleep_disable();        //Probuzeni
    cli();                  //Zruseni externiho preruseni
    cykl=0;

    //Zapnutí periférii (RCT, GSM, Analogy)
    PORTD |= (1<<PD6)|(1<<PD4);
    PORTC |= (1<<PC2)|(1<<PC3)|(1<<PC5);
}
```

	Active clock domains					Oscillators		Wake-up sources						
	clk _{CPU}	clk _{FLASH}	clk _{IO}	clk _{ADC}	clk _{ASY}	Main clock source enabled	Timer oscillator enabled	INT1, INT0 and pin change	TWI address match	Timer2	SPM/EEPROM ready	ADC	WDT	Other/O
Sleep mode														
Idle			X	X	X	X	X ⁽²⁾	X	X	X	X	X	X	X
ADC noise reduction				X	X	X	X ⁽²⁾	X ⁽³⁾	X	X ⁽²⁾	X	X	X	
Power-down								X ⁽³⁾	X				X	
Power-save					X		X ⁽²⁾	X ⁽³⁾	X	X			X	
Standby ⁽¹⁾						X		X ⁽³⁾	X				X	

Notes: 1. Only recommended with external crystal or resonator selected as clock source.
2. If Timer/Counter2 is running in asynchronous mode.
3. For INT1 and INT0, only level interrupt.

Obrázek 8.8 Jednotlivé sleep módy MCU a zdroje buzení, převzato z: [16]

8.6 Komunikace prostřednictvím GSM modulu

Komunikace mezi MCU a GSM modulem je řešena přes USART rozhraní, jehož inicializace a nastavení je popsána v následující podkapitole 8.6.1.

8.6.1 Rozhraní USART

Jednotku USART tvoří celkem tři základní bloky, jimiž jsou: generátor hodinového signálu, vysílač a přijímač. USART mikrokontroléru ATmega168 obsahuje 4 8 bitové registry:

- Údajový registr UDR,
- řídicí a stavový registr A, UCSRA,
- řídicí a stavový registr B, UCSRB,
- řídicí a stavový registr C, UCSRC,

a také jeden 16 bitový registr přenosové rychlosti UBBR. Významy jednotlivých bitů ve zmíněných registrech jsou uvedeny v datasheetu výrobce [16] v kapitole 20.

Za zmínku ale určitě stojí poslední zmiňovaný registr a to UBRR jímž se nastavuje hodnota Baud Rate. Formát USART komunikace se v tomto případě nastaví na asynchronní přenos s 8 bity a 1 stop bitem. Hodnota registru se spočítá na základě znalosti frekvence hodinového signálu a požadované Baud Rate (9600):

$$x_ubrr = \frac{f_{osc}}{8 \cdot BaudRate} - 1 = \frac{1000000}{8 \cdot 9600} - 1 = 12 \quad (15)$$

```
#define F_CPU 1000000UL      //Frekvence pro vypocet zpozdeni - util/delay.h
#define x_baud 9600UL       //Nastaveni BaudRate
#define x_ubrr 12           //Nastaveni hodnoty UBRR

void USART_Init( void)
{
    UCSRA = 0x00;           //Normalni rychlost, tedy vse 0
    UCSRB=0x18;             //Prijem a vysilani log.1
    UCSRC=0x86;             //Format dat 8 bit, 1 bit stop, asynchronni
    UBRR0L = (unsigned char)(x_ubrr); //Ulozeni hodnoty do dolni casti UBRR
    UBRR0H = (unsigned char)(x_ubrr>>8); //Ulozeni hodnoty do horni casti UBRR

    return;
}
```

Vyvolání přerušení a jeho obsluha při příjmu dat je řešena pomocí cyklu *while* následovně:

```
ISR(USART0_RX_vect)
{
    unsigned char data;      //Promenna data
    data=UDR0;               //Ulozeni prijateho znaku do UDR0
}
```

```

while ( !(UCSR0A & (1<<RXC)) ); //Cekani na dokončení příjmu
while(!(UCSR1A & (1<<UDRE))); //Cekani na vyprázdnění registru
UDR1=data; //Zápis dat do UDR1

return;

```

8.6.2 Zadávání AT příkazů

Pro zadávání AT příkazů pro GSM modul se využívá funkce *printf()* obsažená v knihovně *stdio.h*. Tato funkce vypisuje zadaný obsah na rozhraní USART. Po každém zadání AT příkazu je nutné počkat na přijetí odpovědi od GSM modulu ve tvaru zprávy "OK", aby byl zadaný příkaz správně proveden. Špatně zadané příkazy jsou ignorovány, pokud je příkaz správně, ale parametry jsou uvedeny nesrozumitelně odpoví modul zprávou "ERROR".

Formát zápisu AT příkazů může mít tři různé podoby:

- Test zda, zařízení příkazu rozumí - *AT+<příkaz>=?<CR>*
- Načtení již nastavených parametrů - *AT+<příkaz>?<CR>*
- Zápis parametrů - *AT+<příkaz>=<parametr>?<CR>*

8.6.3 Postup při realizaci komunikace a přenosu dat

Při připojení napájení k bloku řízení se GSM modul inicializuje a přihlásí do sítě GSM. Po úspěšném přihlášení dojde k aktivaci profilu a pokusu o připojení k síti GPRS. Při neúspěšném připojení k GPRS se modul odpojí a znovu pokusí o připojení. Řídící prvek následně naváže spojení se serverem a odešle žádost o časovou synchronizaci. Server odpoví časovými údaji a spojení ukončí. Při neúspěšném pokusu o navázání spojení se modul od sítě GPRS odpojí a pokus zopakuje.

Pokud je SIM karta chráněná PIN kódem, je nutné jej zadat. V opačném případě se SIM karta po třech neúspěšných pokusech zablokuje. Pro odblokování je potřeba pomocí AT příkazu zadat kód PUK ve tvaru: *AT+CPIN=<puk>[<novy_pin>]*. Bližší popis jednotlivých AT příkazů zde pro nepřehlednost a množství uváděn není, ale je možné jej získat buď v [14], nebo na stránkách prodejce⁵.

Aby byla možná komunikace se vzdáleným serverem, je nutno vytvořit tzv. socket, neboli prostředek pro komunikaci, který nám toto umožní. Socket umožňuje komunikaci mezi procesy, tedy klientem a serverem a dokáže zpracovat a vyhodnotit příchozí data. Samotné odesílání dat se poté děje prostřednictvím sady AT příkazů.

⁵ http://www.szchonghan.com/download/Siemens_MC39i_ATC_V02.00.pdf

9 ZÁVĚR

Cílem této práce bylo navrhnout a realizovat autonomní elektronický systém pro monitorování vodních toků prostřednictvím GSM komunikace.

Vzhledem k poměrně širokému zastoupení obdobných systémů na trhu, bylo mou snahou vyvíjené zařízení v nějaké oblasti odlišit a přijít s originálním řešením. Většina na trhu dostupných dataloggerů nemá možnost přímého připojení fotovoltaického panelu, který by dobíjel akumulátor a rovněž spousta výrobců opomíjí návrh napájecího zdroje z hlediska spotřeby v úsporném režimu. Povedlo se mi za pomoci vývojových kitů, které jsou součástí příloh, otestovat a vyladit obvod pro správu dobíjení akumulátoru a také obvodové řešení napájecího zdroje s velmi malou vlastní spotřebou.

Velkým přínosem v rámci úspory energie je i řešení odpojování všech periférií od napájení. Především potom analogová čidla připojená na napájecí napětí 12 V. V rámci odladování a testování těchto úkonů jsem navrhl testovací kit s implementovaným MCU, GSM modulem a perifériemi. Tento testovací kit sloužil i pro vývoj a odladování SW vybavení MCU, zvláště potom pro nastavování analogových vstupů.

Další výhodou, kterou má zařízení oproti jiným, je způsob měření a ukládání hodnot z ADC převodníků, kde je realizována funkce na změření celkem 5 vzorků, které pak průměruje a vrací hodnotu, která není nijak zkreslená např. vlivem dynamické chyby při měření.

Při realizaci autonomního systému jsem úzce spolupracoval se státním podnikem, Povodí Labe, který mi zpřístupnil jedno ze svých měřicích míst. Systém byl umístěn na limnigrafické stanici v Sobkovicích, kde monitoroval okolní teplotu a výšku hladiny řeky Tiché Orlice. Naměřené výsledky byly každou hodinu zaznamenávány na kompaktní SD kartu v souborovém systému FAT32, což je výhodné z hlediska přenositelnosti dat na běžné PC vybavené operačním systémem Windows. Získaná data se ukládají do tabulky s formátem .csv, který lze běžně otevřít např. v Microsoft office.

Kladně musím zhodnotit spotřebu celého systému, jenž se při sepnutém GSM modulu pohybuje okolo 300 mA a v režimu spánku pouhých 190 μ A, což v součtu dává celkovou denní spotřebu (při vysílání jednou za hodinu) zhruba 210 mA. V porovnání s teoretickou předpokládanou hodnotou v tabulce 6.12, vyšla reálná hodnota o něco málo vyšší.

Vhodným pokračováním práce je odladění a implementace SW vybavení PC pro možnost sledování naměřených dat prostřednictvím www stránek, které jsem bohužel z časových důvodů do této práce nestihl zapracovat.

10 SEZNAM ZKRATEK

ALU	Arithmetic Logic Unit
Apod.	A podobně
CSD	Circuid Switched Data
CO	Cut-off
Č.	Číslo
DA	Destination Adress
DCE	Data - Circuing Terminating Equipment
DPS	Deska plošného spoje
DTE	Data Terminal Equipment
EMC	Electromagnetic Compatibility
FV	Fotovoltaický
FF	Fill Factor
GPRS	General Packet Radio Service
GSM	Global System for Mobile Communication
HW	Hardware
JTAG	Joint Test Action Group
LSD	Low Self-Discharge
Max.	Maximální
MCU	MicroController Unit
OC	Open Circuit
PKV	Peak Voltage Detection
SW	Software
LED	Light - Emitting Diode
log.	logický
I/O	Input/Output
RTC	Real - Time Clock
Sb.	Sbírka
SC	Short Circuit
TCO	Thermal Cut-Off
Tzn.	To znamená
Tzv.	Takzvaný
VA	Volt-Amper
SIM	Subscriber Identity Module
SMS	Short Message System
SPI	Serial Programming Interface
UART	Universal Asynchronous Receiver and Transmitter
USART	Universal Synchronous Asynchronous Receiver and Transmitter

11 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 2.1 Kalibrovaná nádoba pro měření průtoku malých vodních toků [20]	12
Obrázek 2.2 Princip měření průtoku pomocí měrného přelivu [20]	12
Obrázek 2.3 Měrné přelivy, zleva: Bazinův, Ponceletiho, Thomsonův [20]	13
Obrázek 2.4 Provedení Parshallova žlabu [20]	13
Obrázek 2.5 Měření povrchových rychlostí pomocí plováků [20]	14
Obrázek 2.6 Hydrometrická vrtule [20]	14
Obrázek 2.7 Grafická metoda výpočtu průtoku pro hydrometrickou vrtuli [20]	15
Obrázek 2.8 Příklad odečítání vodních stavů pomocí vodočtů [20]	16
Obrázek 2.9 Princip limnigrafu [20]	16
Obrázek 2.10 Vlevo: plovákový kontinuální snímač hladiny PSH-30 (FIEDLER-MÁGR) [21], vpravo: plovákový limnigraf s grafickým záznamem LU503G [22]	18
Obrázek 2.11 Vlevo: radarový snímač hladiny Micropilot M FMR230 (E+H) [23],	19
Obrázek 2.12 Princip měření metodou probublávání [24]	19
Obrázek 2.13 Princip měření hydrostatickým snímačem [31]	20
Obrázek 3.1 Struktura fotovoltaiického článku [3]	21
Obrázek 3.2 Spektrální citlivost křemíkového FV článku [11]	24
Obrázek 3.3 Zleva: monokrystalický, polykrystalický a amorfni článek [4]	24
Obrázek 4.1 Levý graf: nabíjecí a vybíjecí charakteristika NiCd akumulátoru, pravý graf: Životnost NiCd akumulátoru v závislosti na skladovací teplotě [6]	28
Obrázek 4.2 Levý graf: nabíjecí charakteristika NiMH akumulátoru, pravý graf: vybíjecí charakteristika NiMH akumulátoru [7]	29
Obrázek 4.3 Vybíjecí charakteristiky Li-Ion akumulátoru [7]	30
Obrázek 4.4 Metoda časového ukončování [10]	33
Obrázek 4.5 Metoda napětového ukončení V_{CO} [10]	34
Obrázek 4.6 Metoda napětového ukončení PKV [10]	35
Obrázek 4.7 Metoda napětového ukončení $-\Delta V$ [10]	35
Obrázek 4.8 Metoda napětového ukončení d^2V/dt^2 [10]	36
Obrázek 4.9 Metoda proudového ukončení [10]	36
Obrázek 4.10 Metoda teplotního ukončení T_{CO} [10]	37
Obrázek 4.11 Metoda teplotního ukončení $\Delta T/\Delta t$ [10]	38
Obrázek 5.1 Řídicí jednotka M4016 [25]	39
Obrázek 5.2 Datalogger DA4 [26]	40
Obrázek 5.3 Hydro Logger H1 [27]	41
Obrázek 5.4 Datalogger DN4000 [28]	42
Obrázek 6.1 Blokové schéma navrhovaného zařízení	45
Obrázek 6.2 Hydrostatický snímač tlaku FMX 167 [31] a odporový teploměr T1010 [29]	46
Obrázek 6.3 ATmega168 - pouzdro TQFP [16]	50

Obrázek 6.4 Popis pinů karty SD při SPI módu	51
Obrázek 6.5 Modul reálného času s obvodem DS1302	52
Obrázek 6.6 Modul Cinterion MC39i	53
Obrázek 6.7 Rozhraní modulu MC39i - 40 pinový ZIF konektor [14]	58
Obrázek 6.8 Provedení obvodu LM26003 včetně označení pinů [18]	60
Obrázek 6.9 FV panel MP-5WP	64
Obrázek 6.10 Obvod LT3652 v MSOP provedení včetně označení pinů	65
Obrázek 7.1 Schéma zapojení solární nabíječky s obvodem LT3652	69
Obrázek 7.2 Napájecí zdroj s obvodem LM26003 - schéma zapojení	71
Obrázek 7.3 Lineární regulátor napětí MIC5209 - schéma zapojení.....	72
Obrázek 7.4 Schéma zapojení MCU a programovacího konektoru	72
Obrázek 7.5 Schéma zapojení GSM modulu a SIM karty.....	74
Obrázek 7.6 Schéma zapojení SD karty	74
Obrázek 7.7 Schéma zapojení MCU pro RTC modul	75
Obrázek 7.8 Schéma zapojení desky RTC modulu s obvodem DS1302.....	75
Obrázek 7.9 Schéma zapojení analogových vstupů.....	76
Obrázek 8.1 Adresový/řídící bajt obvodu [30]	78
Obrázek 8.2 Adresy registrů a význam jednotlivých bitů [30].....	79
Obrázek 8.3 Obrázek výběrového multiplexorového registru ADMUX [16]	80
Obrázek 8.4 Obrázek kontrolního a stavového registru ADCSRA [16].....	81
Obrázek 8.5 Obrázek řídicího registru SPCR pro SPI rozhraní [16].....	83
Obrázek 8.6 Obrázek stavového registru SPSR pro SPI rozhraní [16]	84
Obrázek 8.7 Obrázek datového registru SPI rozhraní [16].....	84
Obrázek 8.8 Jednotlivé sleep módy MCU a zdroje buzení, převzato z: [16]	89

12 SEZNAM TABULEK

Tabulka 3.1 Srovnání vlastností jednotlivých článků	25
Tabulka 4.1 Porovnání vlastností jednotlivých akumulátorů (převzato z [13])	31
Tabulka 5.1 Porovnání parametrů obdobných systémů	44
Tabulka 6.1 Základní vlastnosti snímače FMX 167	47
Tabulka 6.2 Základní vlastnosti ATmega168	48
Tabulka 6.3 Přehled vlastností GSM modulu MC39i	54
Tabulka 6.4 Propojení signálů zařízení DCE-DTE	55
Tabulka 6.5 Signály rozhraní pro SIM	56
Tabulka 6.6 Stavy modulu pro pin SYNC	57
Tabulka 6.7 Popis jednotlivých pinů rozhraní modulu MC39i	59
Tabulka 6.8 Základní parametry obvodu LM26003	60
Tabulka 6.9 Popis pinů obvodu LM26003	61
Tabulka 6.10 Předpokládaný proudový odběr celého zařízení	62
Tabulka 6.11 Parametry akumulátoru	63
Tabulka 6.12 Proudový odběr zařízení včetně samovybití akumulátoru	63
Tabulka 6.13 Základní vlastnosti FV panelu	64
Tabulka 6.14 Základní vlastnosti obvodu LT3652 (převzato z [18])	66
Tabulka 8.1 Základní řídicí příkazy pro SD kartu	86

13 POUŽITÉ ZDROJE A LITERATURA

- [1] Fotovoltaika, dotace 2010, panely - Fotovoltaika: Princip článku. *Fotovoltaika.vialoca.com* [online]. 2011 [cit. 2013-11-20]. Dostupné z: <http://www.fotovoltaika.vialoca.com/princip/clanek.html>
- [2] Solární sluneční energie a vše o ní - Solární-energie.info. *Solární-energie.info* [online]. [cit. 2013-11-20]. Dostupné z: <http://www.solarni-energie.info/fotovoltaicke-solarni-panely-kolektory.php>
- [3] KUSALA, J. ČEZ. Solární energie. Solární (fotovoltaické) články. *Cez.cz* [online]. [cit. 2013-11-20]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/k32.htm>
- [4] GALILELO CORP. s.r.o. CNE Czech Nature Energy, a. s. Úvod do FV systémů. *Cne.cz* [online]. [cit. 2013-11-20]. Dostupné z: <http://www.cne.cz/fotovoltaicke-systemy/uvod-do-fv-systemu/>
- [5] Nikl-kadmiový akumulátor. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida): Wikipedia Foundation, poslední úpravy 21.3.2013 [cit. 2013-12-08]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Nikl-kadmiov%C3%BD_akumul%C3%A1tor
- [6] HAMMERBAUER. J. Akumulátory NiFe a NiCd. *Vyuka.fel.zcu.cz* [online]. 2011 [cit. 2013-12-08]. Dostupné z: http://vyuka.fel.zcu.cz/kae/enz/Texty_folie/Texty/Akum_otevrene_NiFe_NiCd.pdf
- [7] RŮŽIČKA, T. *Vliv iontů hliníku ve struktuře hydroxidu nikelnatého na vlastnosti elektrod*. Brno: Vysoké učení Technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2010 [cit. 2013-12-10]. Diplomová práce. Dostupné také z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=28306.
- [8] BATTEX, spol. s r.o. Paměťový efekt (memory effect) | Pověry a mýty o hermetických akumulátorech | Abeceda baterií a akumulátorů. *Battex.info* [online]. ©2009-2014 [cit. 2013-12-08]. Dostupné z: <http://www.battex.info/?id=113>

- [9] Lithium-iontový akumulátor. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida): Wikipedia Foundation, poslední úpravy 5.12.2013 [cit. 2013-12-08]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Lithium-iontov%C3%BD_akumul%C3%A1tor
- [10] MIČÁK, T. *Vliv železa na nabíjitelnost niklových akumulátorů*. Brno: Vysoké učení Technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2011 [cit. 2013-12-10]. Bakalářská práce. Dostupné také z: http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=41642.
- [11] KAŠPÁREK, M. *Regulátor pro nabíjení nímh akumulátorů z fotovoltaického panelu*. Brno: Vysoké učení Technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2011 [cit. 2013-12-10]. Diplomová práce. Dostupné také z: http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=38616.
- [12] VILHELM, O. *Kompozitní elektrodové materiály pro lithium-iontové akumulátory na bázi LiFePO₄*. Brno: Vysoké učení Technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2011 [cit. 2013-12-10]. Diplomová práce. Dostupné také z: http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=40401.
- [13] JANDURA, P. *Přehled a vlastnosti současných akumulátorů používaných v elektromobilech*. Technická univerzita v Liberci: Ústav mechatroniky a technické informatiky, Fakulty mechatroniky IMS, 2010 [cit. 2013-12-10]. Dostupné také z: http://skfm2010.tul.cz/postery/Jandura_Pavel.pdf
- [14] Datasheet MC39i: *Siemens Cellular Engine*. Deutschland: Siemens AG, 2003. Dostupné z: http://www.sendsms.cn/download/mc39i_hd_v0102.pdf
- [15] D. MATOUŠEK. *Práce s mikrokontroléry Atmel AVR*. 1. vyd. Praha: BEN-technická literatura, 2003. ISBN 80-7300-088-1.
- [16] Datasheet Atmel 8-bit microcontroller. *ATmega48/88/168*. USA: Atmel Corporation, 2011. Dostupné z: <http://www.atmel.com/Images/doc2545.pdf>
- [17] Datasheet LT3652C. *Power tracking 2A Battery Charger for Solar Power*. Linear Technology. USA: LINEAR TECHNOLOGY CORPORATION, 2010. Dostupné z: <http://cds.linear.com/docs/Datasheet/3652fc.pdf>
- [18] Datasheet LM26003. *3A Switching Regulator with High Efficiency Sleep Mode*. Texas Instruments: Texas Instruments Incorporated, 2011. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm26003.pdf>

- [19] CETTRA: Jak na baterie NiCd a NiMH. 2011 [online]. [cit. 2013-11-20]. Dostupné z: <http://www.cettra.cz/vysilacky-radiostanice/MOTOROLA/Baterie-NiCd,-NiMH-.../Jak-na-baterie/20>
- [20] ČVUT. *Přednáškové slajdy předmětu 1141 HYA (Hydraulika)*, verze 05/2011 [online]. [cit. 2013-12-12]. Dostupné z: http://hydraulika.fsv.cvut.cz/Hydraulika/Hydraulika/Predmety/Hya/ke_stazeni/prednasky/12_mereni_prutoku.pdf
- [21] FIEDLER. PSH-30 Plovákový snímač hladiny | Fiedler-Mágr Electronics for ecology. *Fiedler-magr.cz* [online]. ©2014 [cit. 2014-01-22]. Dostupné z: <http://www.fiedler-magr.cz/en/node/440>
- [22] FONET s.r.o. Limnigraf LU503G a LU503GA | NPK Europe Mfg. s.r.o. Uhřetov. *Npke.cz* [online]. ©2006 [cit. 2014-01-22]. Dostupné z: <http://www.npke.cz/hladinometry-limnigraf-lu503g.php>
- [23] ENDRESS+HAUSER. Level measurement | Endress+Hauser. *Cz.endress.com* [online]. 2014 [cit. 2014-01-22]. Dostupné z: <http://www.cz.endress.com/cs/products/level>
- [24] Datasheet PS-Light-2. *Pressure sensor pneumatic gauge PS-Light-2*. 2014 [cit. 2014-01-22]. Dostupné z: <http://www.instrumentservice.eu/it/wp-content/uploads/2013/03/PS-Light-2.pdf>
- [25] FIEDLER. M4016-G univerzální řídicí jednotka, telemetrická stanice, průtokoměr | Fiedler-Mágr Elektronika pro ekologii. *Fiedler-magr.cz* [online]. ©2014 [cit. 2014-01-22]. Dostupné z: <http://www.fiedler-magr.cz/cs/produkty/ridici-jednotky-m4016/m4016-g-univerzalni-ridici-jednotka-prutokomer>
- [26] CS TECHNOLOGIES s.r.o. Inteligentní GSM modemy Conel s.r.o. *Conel.cz* [online]. ©2014 [cit. 2014-04-19]. Dostupné z: <http://www.conel.cz/cs/GSM-GPRS-modemy>
- [27] FIEDLER. Hydro Logger H1 | Fiedler-Mágr Elektronika pro ekologii. *Fiedler-magr.cz* [online]. ©2014 [cit. 2014-04-19]. Dostupné z: <http://www.fiedler-magr.cz/cs/produkty/male-telemetricke-stanice/hydro-logger-h1>
- [28] DANEŠ, L. Libor Daneš - měřicí meteorologické a hydrologické stanice. *Libordanes.cz* [online].]. ©2012 [cit. 2014-04-19]. Dostupné z: <http://www.libordanes.cz/produkty.php>

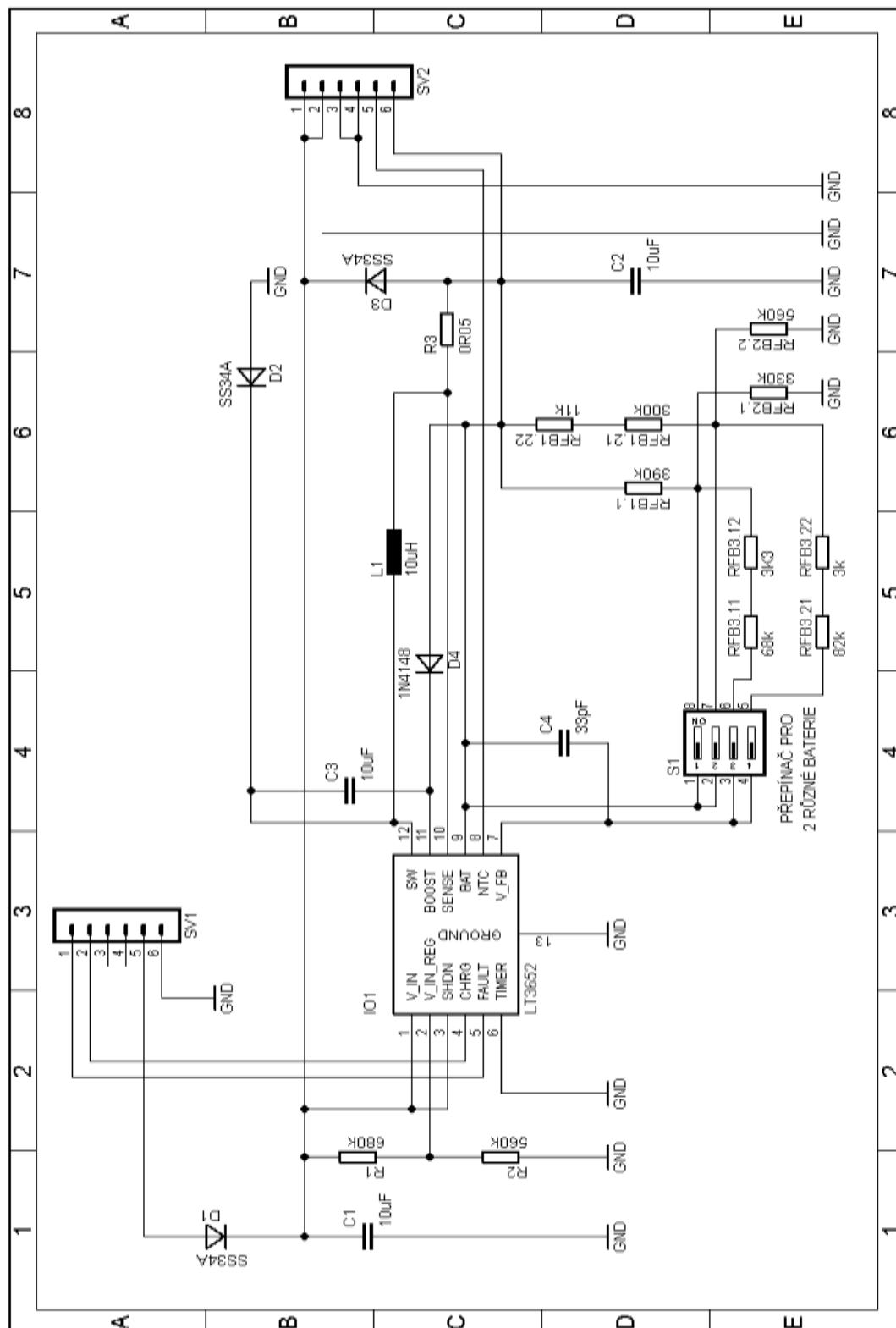
- [29] JSP. JSP.cz - měření a regulace ... JSP - Teplota. *Jsp.cz* [online]. [cit. 2014-04-26]. Dostupné z: http://www.jsp.cz/cz/sortiment/rozsireny_sortiment/jsp/teplota/
- [30] Datasheet DS1302 Dallas. *Trickle-Charge Timekeeping Chip*. Rev: 072204. Dostupné z: <http://www.gme.cz/img/cache/doc/433/112/ds1302-datasheet-1.pdf>
- [31] Datasheet FMX 167. *Hydrostatické měření hladiny - Waterpilot FMX 167* [CD]. Praha: Endress+Hauser.
- [32] MicroSD ATmega32 Data-Logger. *Atmega32-avr.com* [online]. 7.6.2012 [cit. 2014-04-26]. Dostupné z: <http://atmega32-avr.com/microsd-atmega32-data-logger/>
- [33] PREČAN, D. *Komunikační zařízení přes GSM/GPRS*. Brno: Vysoké učení Technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2010 [cit. 2014-05-10]. Diplomová práce. Dostupné také z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=26960
- [34] SVOBODA, L. *Systém včasné výstrahy před lokální povodní*. Brno: Vysoké učení Technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2012 [cit. 2014-05-10]. Diplomová práce. Dostupné také z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=51899
- [35] AVRPROJECTS. Reading and writing SD card using Atmega16 : AVR microcontroller projects. *Avrprojects.info* [online]. 2008 [cit. 2014-04-26]. Dostupné z: <http://www.avrprojects.info/avr-interfacing/reading-and-writing-sd-card-using-atmega16/>
- [36] HEROUT, Pavel. *Učebnice jazyka C*, KOPP, 2004. IV. přepracované vydání, ISBN 80-7232-220-6.
- [37] ZÁVODSKÝ, Ondřej. *Programujeme AVR v jazyku C*. ©2012. Volně šiřitelné skriptum.
- [38] VÁŇA, Vladimír. *Mikrokontroléry ATMEL AVR, popis procesoru a instrukční soubor*. Praha: Technická literatura BEN, 2003. 1. vydání. ISBN 80-7300-083-0

14 SEZNAM PŘÍLOH

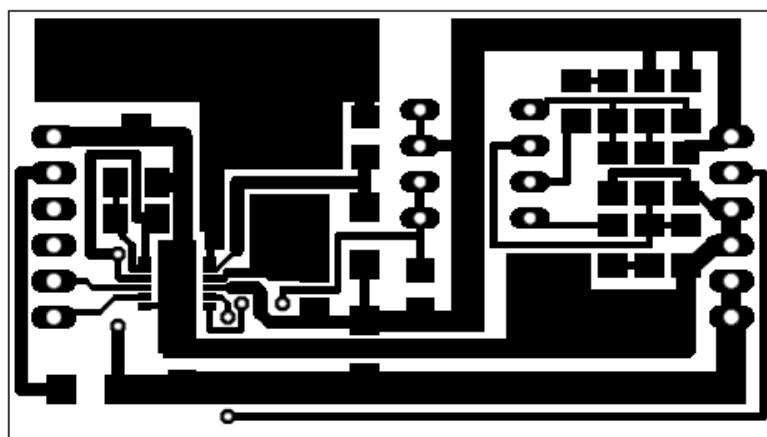
- A. Vývojové a testovací kity** (*schéma zapojení, DPS a seznam součástek*)
 - A.1 Solární nabíječka s obvodem LT3652
 - A.2 Napájecí zdroj LM26003
 - A.3 MCU a GSM modul
- B. Finální podoba zařízení** (*schéma zapojení, DPS a seznam součástek*)
- C. Fotodokumentace**
 - C.1 Vývojové a testovací kity
 - C.2 Finální podoba zařízení
- D. Fotodokumentace z realizace**
- E. Naměřené hodnoty z limnigrafu Sobkovice**
- F. Obsah přiloženého CD**

A. VÝVOJOVÉ A TESTOVACÍ KITY

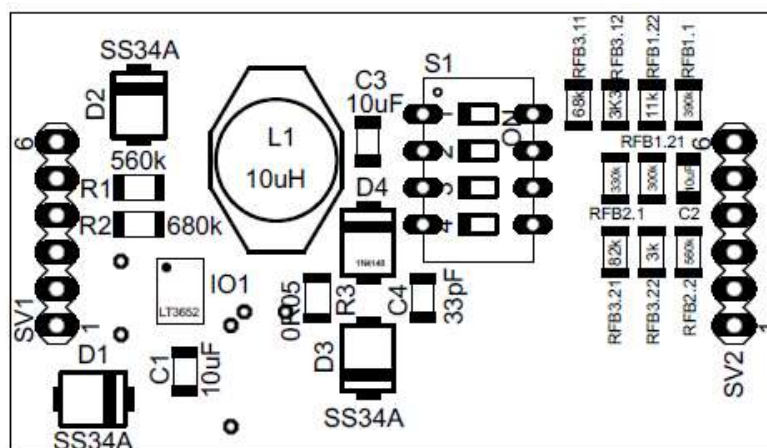
A.1 Solární nabíječka s obvodem LT3652



Obrázek A.1.1 Schéma zapojení testovacího kitu solární nabíječky s obvodem LT3652



Obrázek A.1.2 Deska plošných spojů testovacího kitu solární nabíječky, M2:1

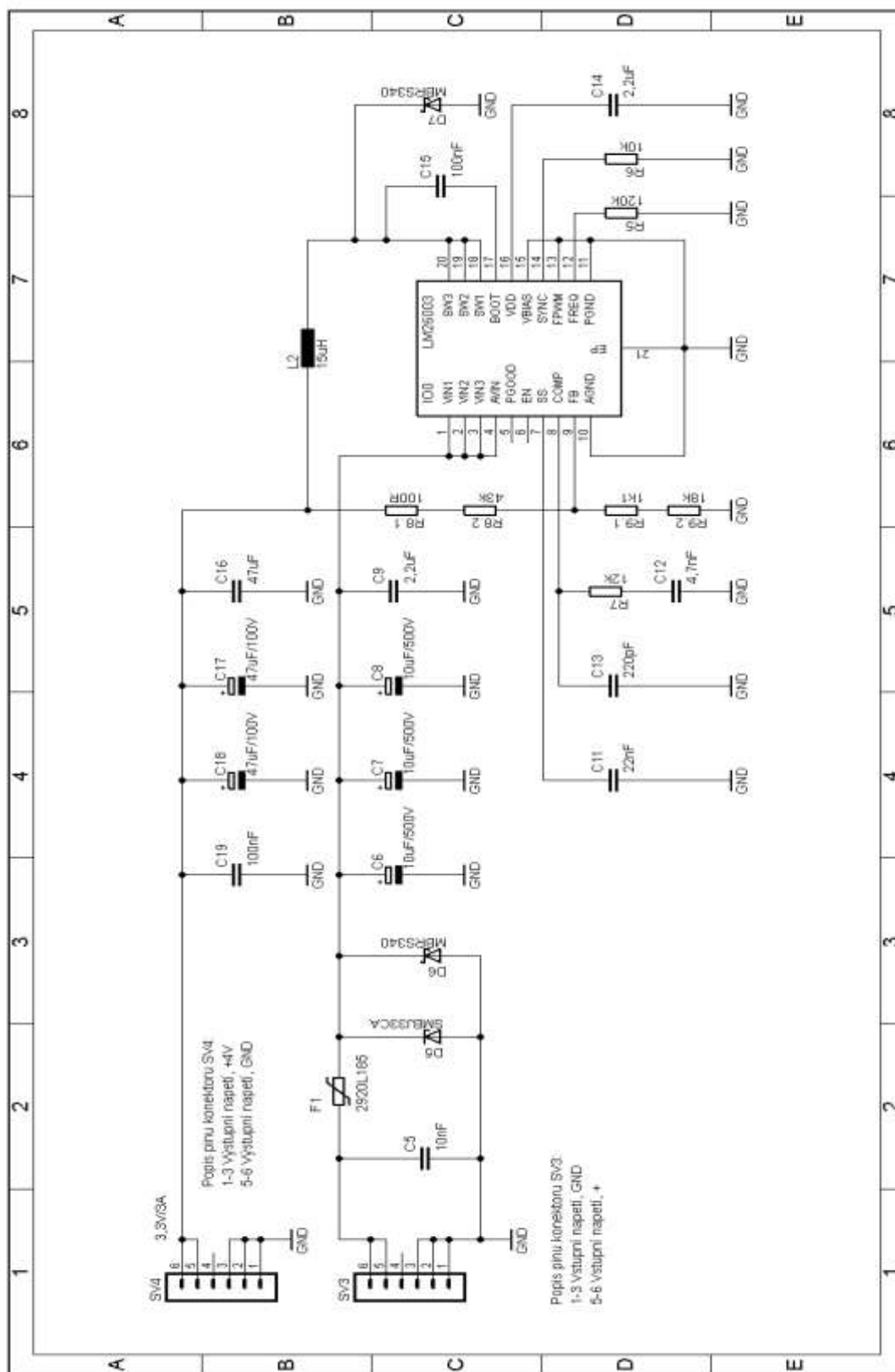


Obrázek A.1.3 Osazovací plán testovacího kitu solární nabíječky, M2:1

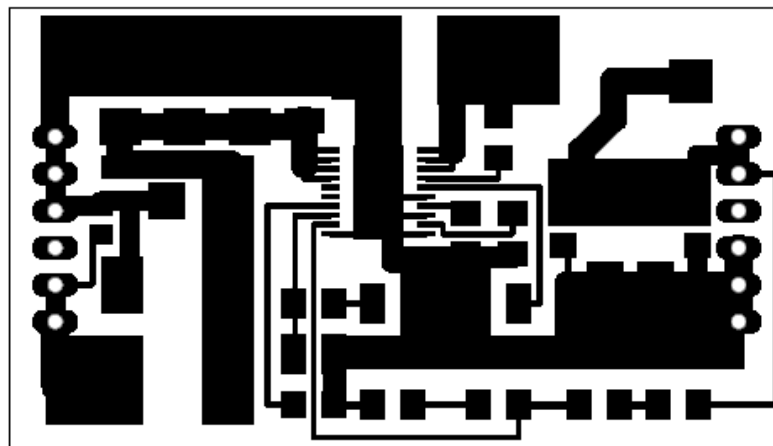
Tabulka A.1 Rozpiska součástek kitu solární nabíječky

Označení	Typ součástky	Pouzdro	Hodnota	Označení	Typ součástky	Pouzdro	Hodnota
R1	SMD rezistor	1206	680 kΩ	RFB3.21	SMD rezistor	1206	82 kΩ
R2, RFB2.2	SMD rezistor	1206	560 kΩ	RFB3.22	SMD rezistor	1206	3 kΩ
R3	SMD rezistor	1206	0,05 Ω	C1, C2, C3	SMD kondenzátor	1206	10μF/16V
RFB1.1	SMD rezistor	1206	390 kΩ	C4	SMD kondenzátor	1206	33pF/50V
RFB1.21	SMD rezistor	1206	300 kΩ	D1, D2, D3, D4	SMD dioda SS34A	SMA	40V/3A
RFB1.22	SMD rezistor	1206	11 kΩ	D4	SMD dioda 1N4148	1206	100V/0,15A
RFB2.1	SMD rezistor	1206	330 kΩ	IO1	LT3652 Linear Technology	MSOP12	12pin
RFB3.11	SMD rezistor	1206	68 kΩ	S1	DIL přepínač	-	4 póly
RFB3.12	SMD rezistor	1206	3,3 kΩ	L1	TLSCB8D43	-	10 μH

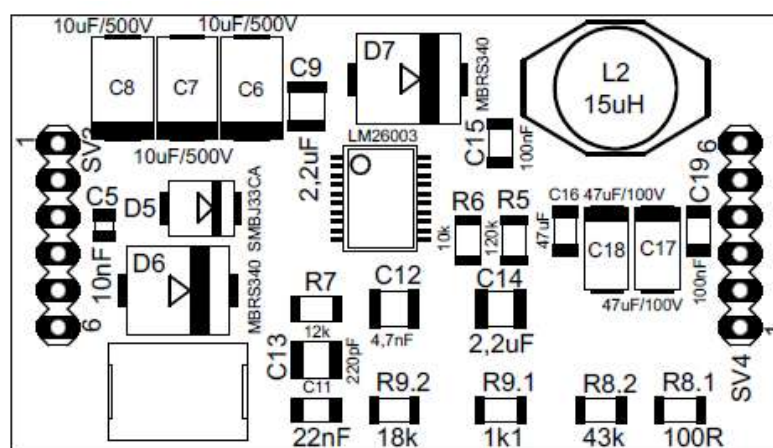
A.2 Napájecí zdroj LM26003



Obrázek A.2.1 Schéma zapojení testovacího kitu napájecího zdroje LM26003



Obrázek A.2.2 Deska plošných spojů testovacího kitu napájecího zdroje, M2:1

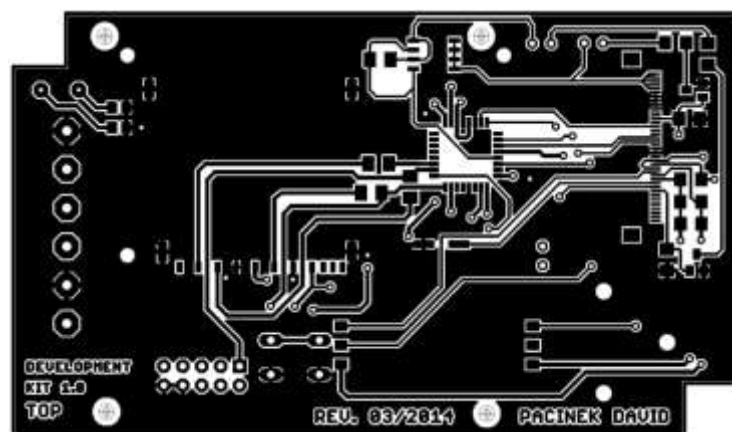


Obrázek A.2.3 Osazovací plán testovacího kitu napájecího zdroje, M2:1

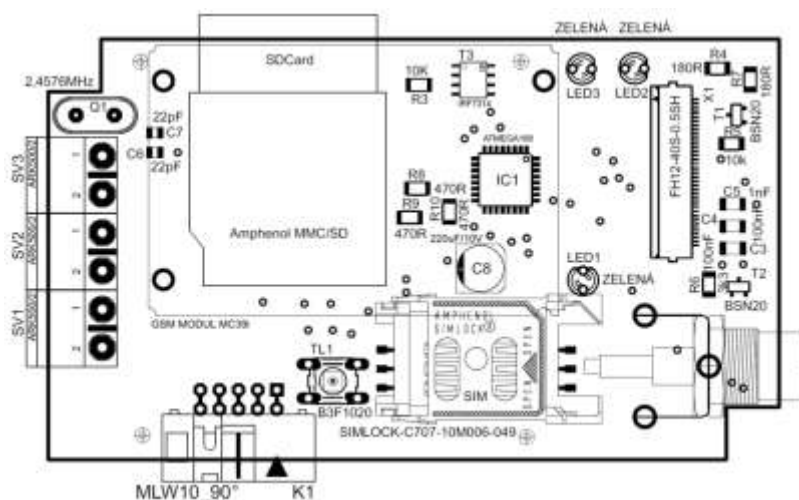
Tabulka A.2 Rozpiska součástek kitu napájecího zdroje

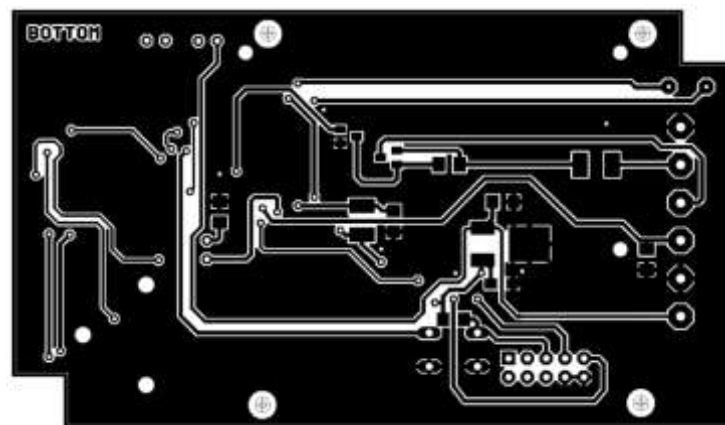
Označení	Typ součástky	Pouzdro	Hodnota	Označení	Typ součástky	Pouzdro	Hodnota
R5	SMD rezistor	1206	120 k Ω	C12	SMD kondenzátor	1210	4,7 nF
R6	SMD rezistor	1206	10 k Ω	C13	SMD kondenzátor	1210	220 pF
R8.1	SMD rezistor	1206	200 Ω	C14	SMD kondenzátor	1210	2,2 μ F
R8.2	SMD rezistor	1206	56 k Ω	C15, C19	SMD kondenzátor	1206	100 nF
R9.1	SMD rezistor	1206	27k Ω	C16, C17, C18	SMD kondenzátor	SMC	47 μ F/100V
R9.2	SMD rezistor	1206	6,2 k Ω	D5	SMD Z-dioda SMBJ33CA	SMB	36,7V/600W
C5	SMD kondenzátor	0805	10 nF	D6, D7	SMD dioda MBRS340	SMC	40V/3A
C6, C7, C8	SMD kondenzátor	SMC	10 μ F/500V	F1	PTC pojistka 2920L185	2920	8A
C9	SMD kondenzátor	1210	2,2 μ F	L1	TL.SCB8D43	-	10 μ H
C11	SMD kondenzátor	1206	22 nF	IO0	LM26003	SSOP20	38V/3A

Obrázek A.3.1 Schéma zapojení testovacího obvodu MCU s GSM

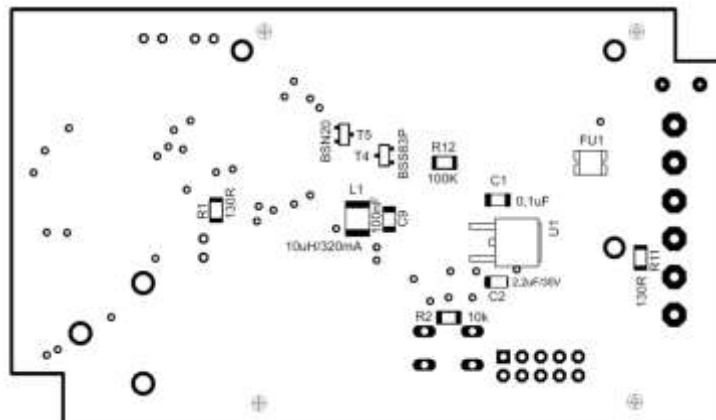


Obrázek A.3.2 Deska plošných spojů testovacího obvodu s MCU a GSM, horní strana, M1:1





Obrázek A.3.4 Deska plošných spojů testovacího obvodu s MCU a GSM, spodní strana, M1:1

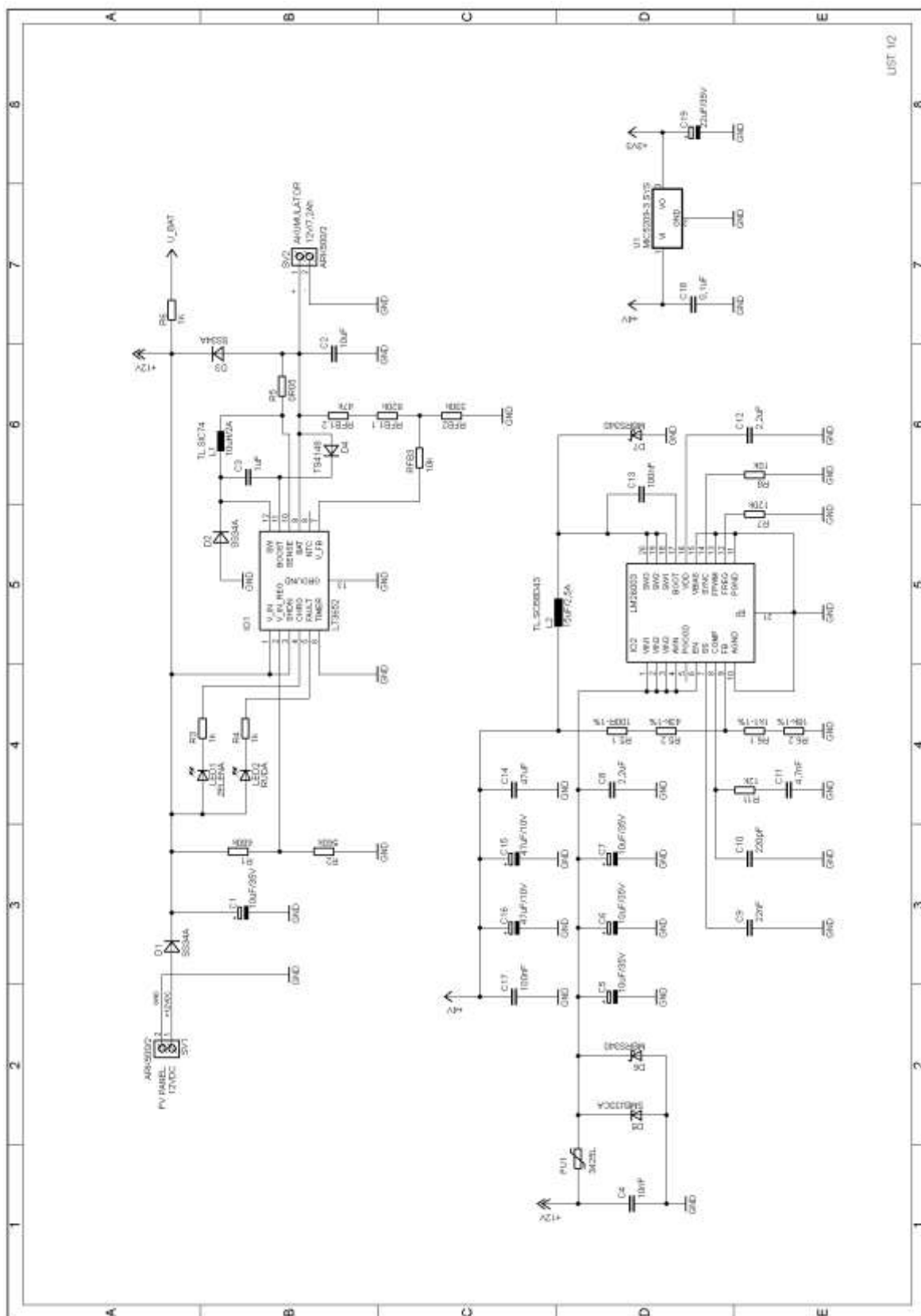


Obrázek A.3.5 Osazovací plán testovacího obvodu s MCU a GSM, spodní strana, M1:1

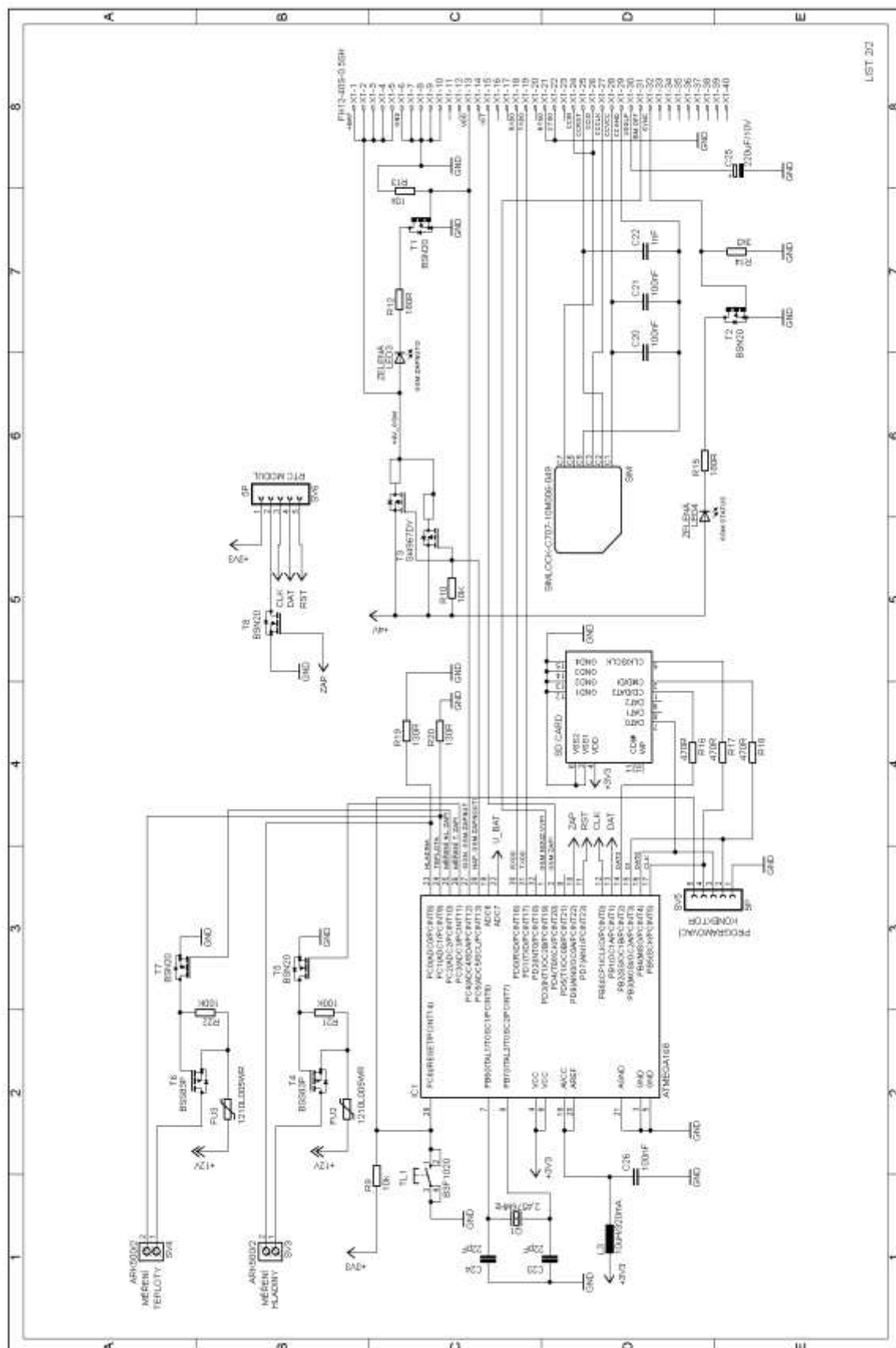
Tabulka A.3 Rozpiska součástek testovacího obvodu s MCU a GSM

Označení	Typ součástky	Hodnota	Pouzdro
C1, C3, C4, C9	SMD kondenzátor	100nF/50V	1206
C2	SMD kondenzátor tantal elektrolytický	2,2uf/25V	A
C5	SMD kondenzátor	1nF/50V	1206
C6, C7	SMD kondenzátor	22pF	0805
C8	SMD kondenzátor elektrolytický	220uF/10V	SMC_D
FU1	Pojistka polymerová PTC 50mA	50mA/30V	1210L
IC1	ATMEGA168-20AU	-	TQFP32-08
L1	SMD tlumivka	10uH/320mA	1812
LED1-3	1,8mm Led dioda 2,4x3,3mm zelená	10mA	-
Q1	Krystal	2,4576MHz	HC49-U
R1, R11	SMD rezisotr 0,25W - 1%	130Ω	1206
R2, R3	SMD rezisotr 0,25W - 1%	10kΩ	1206
R4	SMD rezisotr 0,25W - 1%	180Ω	1206
R5	SMD rezisotr 0,25W - 1%	10kΩ	1206
R6	SMD rezisotr 0,25W - 1%	3,3kΩ	1206
R7	SMD rezisotr 0,25W - 1%	180Ω	1206
R8, R9, R10	SMD rezisotr 0,25W - 1%	470Ω	1206
R12	SMD rezisotr 0,25W - 1%	100kΩ	1206
SV1-3	Konektor ARK2500R-A-2P	2 piny	-
K1	Programovací konektor	10 pinů	MWL10_90
SD CARD	Držák SD karty GSD090012SEU	-	-
SIM	Držák SIM karty C707	-	-
T1, T2, T5	MOSFET tranzistor BSN20	50V/173mA	SOT23
T3	Dvoukanálový MOSFET tranzistor IRF7314	-	SO-8
T4	MOSFET tranzistor BSS83P	60V/330mA	SOT23
TL1	Tlačítko Omron	-	B3F-1020
U1	Spínaný zdroj LF33CDT	3,3V/0,5A	DPAK
X1	40 pinový konektor pro GSM modul	-	FH12-40S-0.5SH

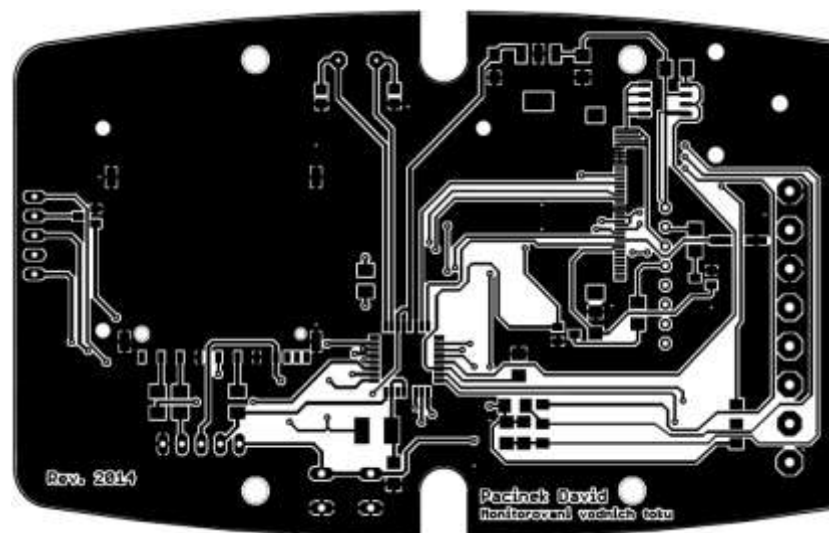
B. FINÁLNÍ PODOBA ZAŘÍZENÍ



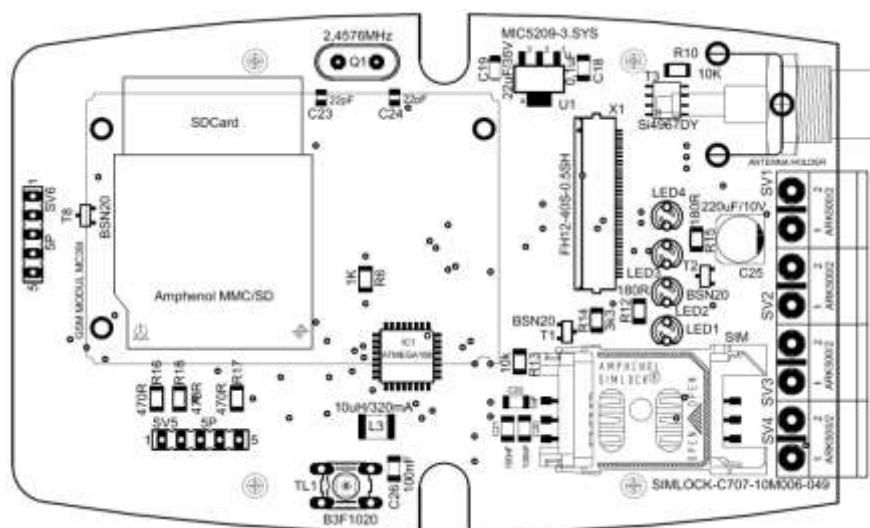
Obrázek B.1 Schéma zapojení zdroje a nabíječky



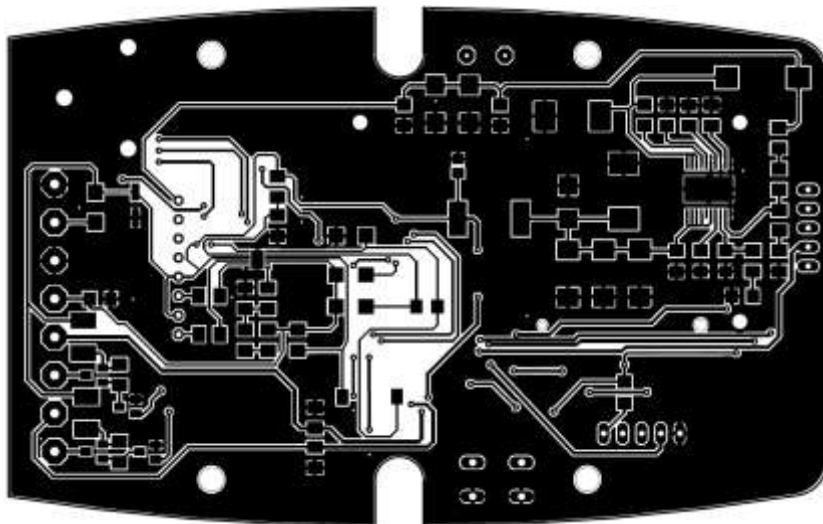
Obrázek B.2 Schéma zapojení MCU, periférií a GSM



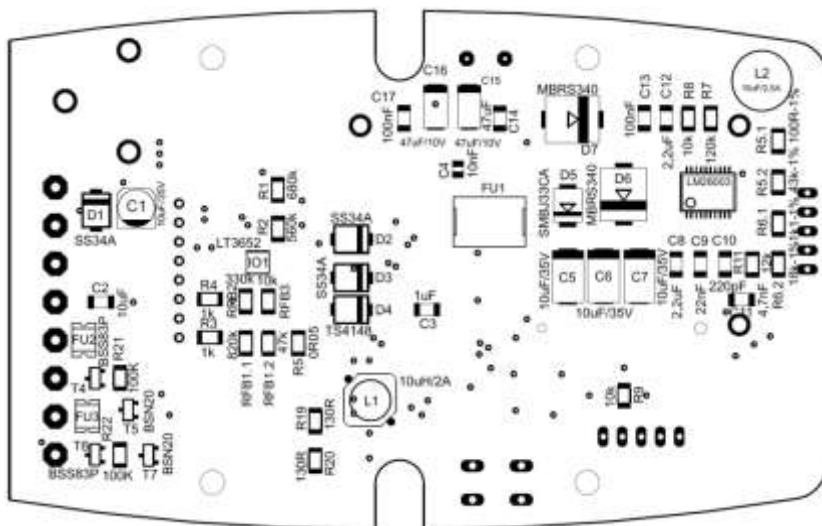
Obrázek B.3 Deska plošných spojů, horní strana, M1:1



Obrázek B.4 Osazovací plán, horní strana, M1:1



Obrázek B.5 Deska plošných spojů, spodní strana, M1:1



Obrázek B.6 Osazovací plán, spodní strana, M1:1

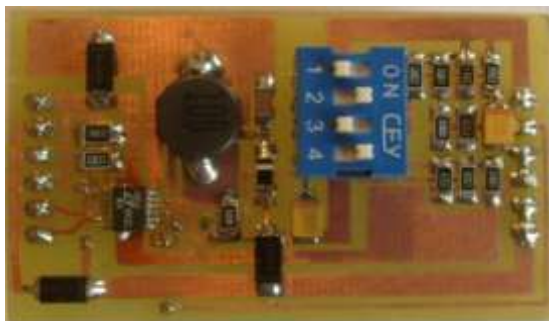
Tabulku B.1 Rozpiska součástek

Označení	Typ součástky	Hodnota	Pouzdro
SOLÁRNÍ NABÍJEČKA			
C1	Kondenzátor elektrolytický SMD	10uF/35V	C
C2, C3	SMD kondenzátor keramický	10uF/25V	1206
D1, D2, D3	SMD dioda SS34A	3A/40V	SMA
D4	SMD dioda TS4148 RXG	0,15A/100V	1206
IO1	Solar IO LT3652	14,4V/2A	DFN
L1	Tlumivka TL.SIC74	10uH/2A	SIC74
LED1	1,8mm Led dioda 2,4x3,3mm zelená	10mA	-
LED2	1,8mm Led dioda 2,4x3,3mm rudá	10mA	-
R1	SMD rezisotr 0,25W - 1%	680kΩ	1206
R2	SMD rezisotr 0,25W - 1%	560kΩ	1206
R3, R4	SMD rezisotr 0,25W - 1%	1kΩ	1206
	SMD rezisotr 0,25W - 1%	0R05	1206
RFB1.1	SMD rezisotr 0,25W - 1%	820kΩ	1206
RFB1.2	SMD rezisotr 0,25W - 1%	47kΩ	1206
RFB2	SMD rezisotr 0,25W - 1%	330kΩ	1206
RFB3	SMD rezisotr 0,25W - 1%	10kΩ	1206
SV1, SV2	Konektor ARK2500R-A-2P	2 piny	-
NAPÁJECÍ ZDROJ			
C4	SMD kondenzátor keramický	10nF/50V	C0805
C5, C6, C7	SMD kondenzátor elektrolytický	10uF/35V	SMC_E
C8,12	SMD kondenzátor	2,2uF/16V	1206
C9	SMD kondenzátor	22nF/50V	1206
C10	SMD kondenzátor	220pF/50V	1206
C11	SMD kondenzátor	4,7nF/50V	1206
C13	SMD kondenzátor	100nF/50V	1206
C14	SMD kondenzátor	47uF/16V	1206
C15, C16	SMD kondenzátor elektrolytický	47uF/10V	SMC_C
C17, C18	SMD kondenzátor	100nF/50V	1206
C19	SMD kondenzátor tantal elektrolytický	22uf/25V	A
D5	Bipolární transil SMBJ33CA	36,7V/600W	SMB
	Dioda MBRS340T3	40V/3A	SMC
FU1	Vratná pojistka 2920L185	33V/1,8A	3425L
IO2	Spínaný regulátor LM26003	4-38V	TSSOP-20
L2	Tlumivka TL.SCB8D43	15uF/2,5A	SCB5D
R5.1	SMD rezisotr 0,25W - 1%	100Ω	1206
R5.2	SMD rezisotr 0,25W - 1%	43kΩ	1206
R6.1	SMD rezisotr 0,25W - 1%	1,1kΩ	1206
R6.2	SMD rezisotr 0,25W - 1%	18kΩ	1206

R7	SMD rezisotr 0,25W - 1%	120kΩ	1206
R8	SMD rezisotr 0,25W - 1%	10kΩ	1206
R11	SMD rezisotr 0,25W - 1%	12kΩ	1206
U1	Lineární regulátor napětí MIC5209-3.SYS	3,3V/0,5A	SOT223
OBVOD S MCU			
C20, C21	SMD kondenzátor	100nF/50V	1206
C22	SMD kondenzátor	1nF/50V	1206
	SMD kondenzátor	22pF	0805
C25	SMD kondenzátor elektrolytický	220uF/16V	SMC_E
C26	SMD kondenzátor	100nF/50V	1206
FU2, FU3	Pojistka polymerová PTC 50mA	50mA/30V	1210L
IC1	ATMEGA168-20AU	-	TQFP32-08
L3	SMD tlumivka	10uH/320mA	1812
LED3, LED4	1,8mm Led dioda 2,4x3,3mm zelená L-2060GD	10mA	-
Q1	Krystal	2,4576MHz	HC49-U
R6	SMD rezisotr 0,25W - 1%	1kΩ	1206
R9, R10, R13	SMD rezisotr 0,25W - 1%	10kΩ	1206
R12, R15	SMD rezisotr 0,25W - 1%	180Ω	1206
R14	SMD rezisotr 0,25W - 1%	3,3kΩ	1206
R16, R17, R18	SMD rezisotr 0,25W - 1%	470Ω	1206
R19, R20	SMD rezisotr 0,25W - 1%	130Ω	1206
R21, R22	SMD rezisotr 0,25W - 1%	100kΩ	1206
SD CARD	Držák SD karty GSD090012SEU	-	-
SIM	Držák SIM karty C707	-	-
SV3, SV4	Konektor ARK2500R-A-2P	2 piny	-
SV5, SV6	Precizní dutinková lišta SIL05PZ	5 pinů	MA05-1
T1, T2, T5, T7, T8	MOSFET tranzistor BSN20	50V/173mA	SOT23
T3	Dvoukanálový MOSFET tranzistor Si4967DY	-	SO-8
T4, T6	MOSFET P tranzistor BSS83P	60V/330mA	SOT23
TL1	Tlačítko Omron	-	B3F-1020
X1	40 pinový konektor pro GSM modul	-	FH12-40S-0.5SH

C. FOTODOKUMENTACE

C.1 Vývojové a testovací kity



Obrázek C.1.1 DPS vývojového kitu solární nabíječky s obvodem LT3652



Obrázek C.1.2 DPS vývojového kitu napájecího zdroje s obvodem LM26003

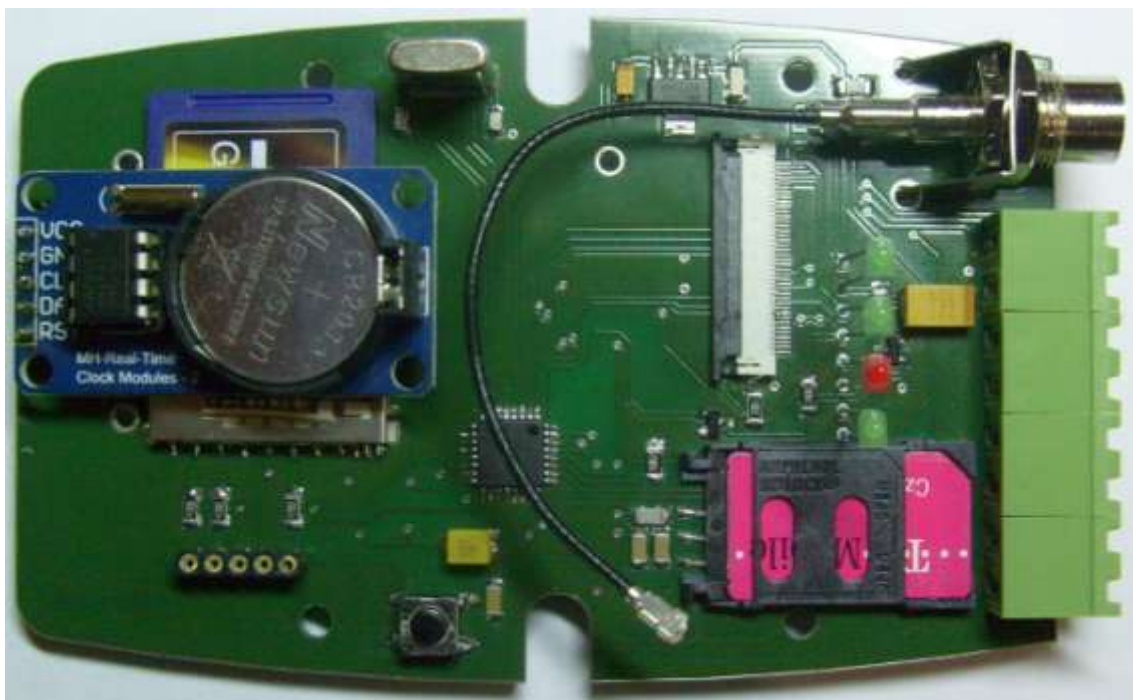


Obrázek C.1.3 Testovací kit s MCU, GSM a periferiemi

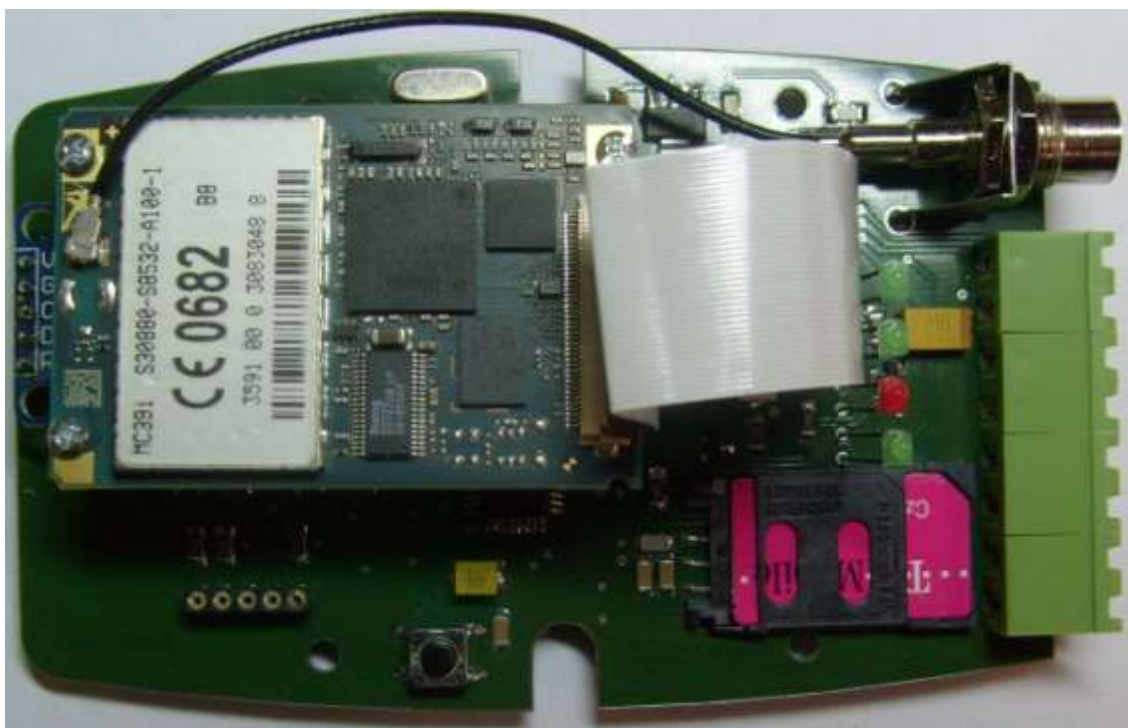


Obrázek C.1.4 Testovací kit s MCU, GSM a periferiemi, včetně programátoru USBASP V2.0 a připojovacího kabelu

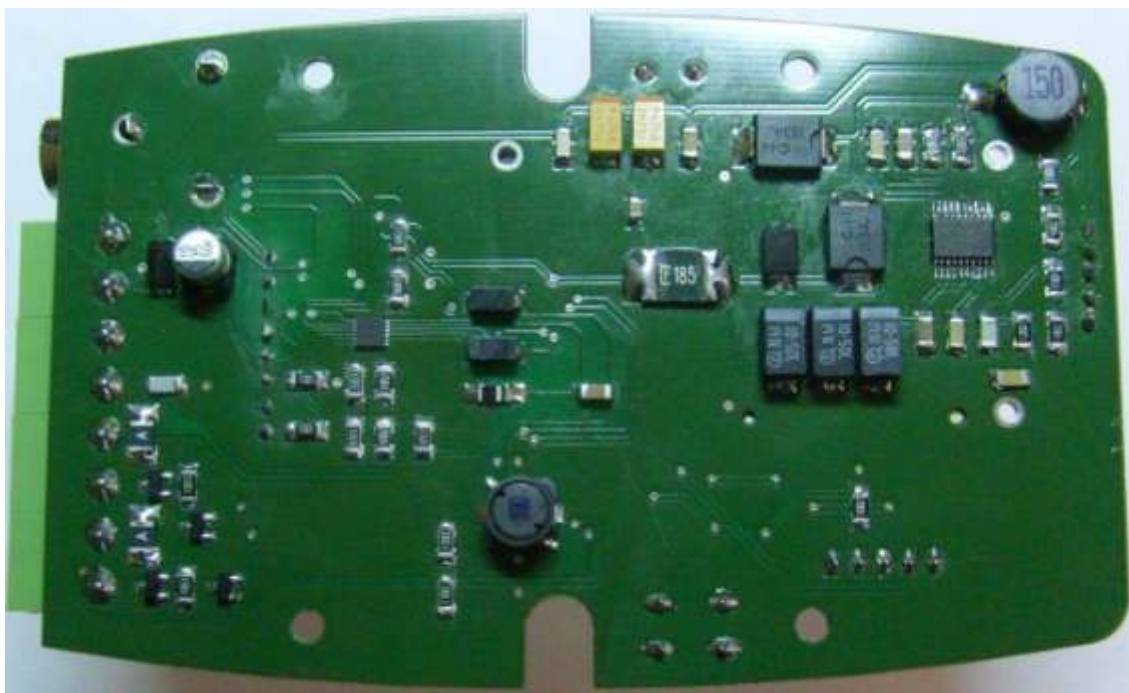
C.2 Finální podoba zařízení



Obrázek C.2.1 Pohled na horní stranu DPS (RTC modul a SD karta)



Obrázek C.2.2 Pohled na horní stranu DPS (GSM modul)



Obrázek C.2.3 Pohled na spodní stranu DPS



Obrázek C.2.4 Pohled na finální zařízení v krabičce



Obrázek C.2.5 Horní a spodní pohled na finální zařízení

D. FOTODOKUMENTACE Z REALIZACE



Obrázek D.1 Limnigrafická stanice Sobkovice



Obrázek D.2 Vodočty na limnigrafické stanici Sobkovice



Obrázek D.3 Vlevo hydrostatická sonda FMX 167, vpravo teploměr T1010



Obrázek D.4 Fotovoltaický panel MP-5WP



Obrázek D.5 Skříňka se systémem monitorování vodních toků

E. NAMĚŘENÉ HODNOTY

Tabulka E.1 Naměřené hodnoty na limnigrafické stanici v Sobkovicích

11.5.2014	11:16:35	016.3°C	0.241 m	12.845 V	12.5.2014	12:16:29	016.3°C	0.248 m	12.856 V
11.5.2014	12:16:35	017.8°C	0.241 m	12.848 V	12.5.2014	13:16:29	016.3°C	0.248 m	12.858 V
11.5.2014	13:16:35	018.6°C	0.241 m	12.856 V	12.5.2014	14:16:29	016.4°C	0.248 m	12.860 V
11.5.2014	14:16:35	018.5°C	0.243 m	12.858 V	12.5.2014	15:16:29	016.5°C	0.248 m	12.864 V
11.5.2014	15:16:35	020.3°C	0.243 m	12.859 V	12.5.2014	16:16:29	016.7°C	0.253 m	12.870 V
11.5.2014	16:16:34	018.1°C	0.245 m	12.868 V	12.5.2014	17:16:28	016.1°C	0.253 m	12.870 V
11.5.2014	17:16:34	017.5°C	0.248 m	12.875 V	12.5.2014	18:16:28	015.3°C	0.253 m	12.869 V
11.5.2014	18:16:34	017.3°C	0.248 m	12.873 V	12.5.2014	19:16:28	014.2°C	0.251 m	12.858 V
11.5.2014	19:16:34	015.8°C	0.248 m	12.869 V	12.5.2014	20:16:28	012.2°C	0.251 m	12.850 V
11.5.2014	20:16:34	014.5°C	0.248 m	12.859 V	12.5.2014	21:16:27	012.1°C	0.251 m	12.850 V
11.5.2014	21:16:33	012.3°C	0.248 m	12.859 V	12.5.2014	22:16:27	010.5°C	0.251 m	12.849 V
11.5.2014	22:16:33	011.2°C	0.247 m	12.848 V	12.5.2014	23:16:27	010.2°C	0.248 m	12.835 V
11.5.2014	23:16:33	010.5°C	0.247 m	12.837 V	13.5.2014	0:16:27	009.1°C	0.253 m	12.835 V
12.5.2014	0:16:33	010.5°C	0.245 m	12.837 V	13.5.2014	1:16:27	007.5°C	0.253 m	12.830 V
12.5.2014	1:16:33	010.1°C	0.245 m	12.830 V	13.5.2014	2:16:26	006.1°C	0.259 m	12.830 V
12.5.2014	2:16:32	009.2°C	0.242 m	12.830 V	13.5.2014	3:16:26	005.3°C	0.262 m	12.810 V
12.5.2014	3:16:32	008.1°C	0.242 m	12.830 V	13.5.2014	4:16:26	005.0°C	0.264 m	12.812 V
12.5.2014	4:16:32	008.1°C	0.242 m	12.830 V	13.5.2014	5:16:26	004.3°C	0.269 m	12.812 V
12.5.2014	5:16:32	008.3°C	0.242 m	12.830 V	13.5.2014	6:16:26	006.6°C	0.269 m	12.823 V
12.5.2014	6:16:31	010.3°C	0.243 m	12.831 V	13.5.2014	7:16:26	007.6°C	0.267 m	12.823 V
12.5.2014	7:16:31	012.7°C	0.242 m	12.835 V	13.5.2014	8:16:25	009.1°C	0.267 m	12.839 V
12.5.2014	8:16:30	013.9°C	0.243 m	12.845 V	13.5.2014	9:16:25	012.5°C	0.264 m	12.840 V
12.5.2014	9:16:30	014.2°C	0.243 m	12.849 V	13.5.2014	10:16:25	013.4°C	0.264 m	12.835 V
12.5.2014	10:16:30	014.4°C	0.247 m	12.849 V	13.5.2014	11:16:25	014.0°C	0.259 m	12.838 V
12.5.2014	11:16:30	015.0°C	0.247 m	12.849 V	13.5.2014	12:16:25	015.6°C	0.248 m	12.840 V
12.5.2014	12:16:29	016.3°C	0.248 m	12.856 V	13.5.2014	13:16:24	016.1°C	0.248 m	12.845 V
12.5.2014	13:16:29	016.3°C	0.248 m	12.858 V	13.5.2014	14:16:24	016.5°C	0.251 m	12.880 V

F. OBSAH PŘILOŽENÉHO CD

Pořadí	Název adresáře	Stručný obsah adresáře
01	Textová část	Hlavní dokument diplomové práce ve formátu .pdf
02	Schéma zapojení	Obrázky i zdrojové soubory ke všem zařízením
03	Výpočet spotřeby	Formou excel tabulky se vzorci
04	SW vybavení	Zdrojový kód pro finální zařízení
05	Web server	Instalační soubor Web serveru
06	Datasheety obecné	Katalogové listy k jednotlivým prvkům systému
07	Datasheety dataloggery	Katalogové listy k dataloggerům z rešerše
08	Podklady od povodí	Obsahuje .pdf s měrnou křivkou
09	Fotodokumentace	Fotky nejen obsažené v této práci
10	Naměřené výsledky	Naměřené výsledky ve formátu .csv